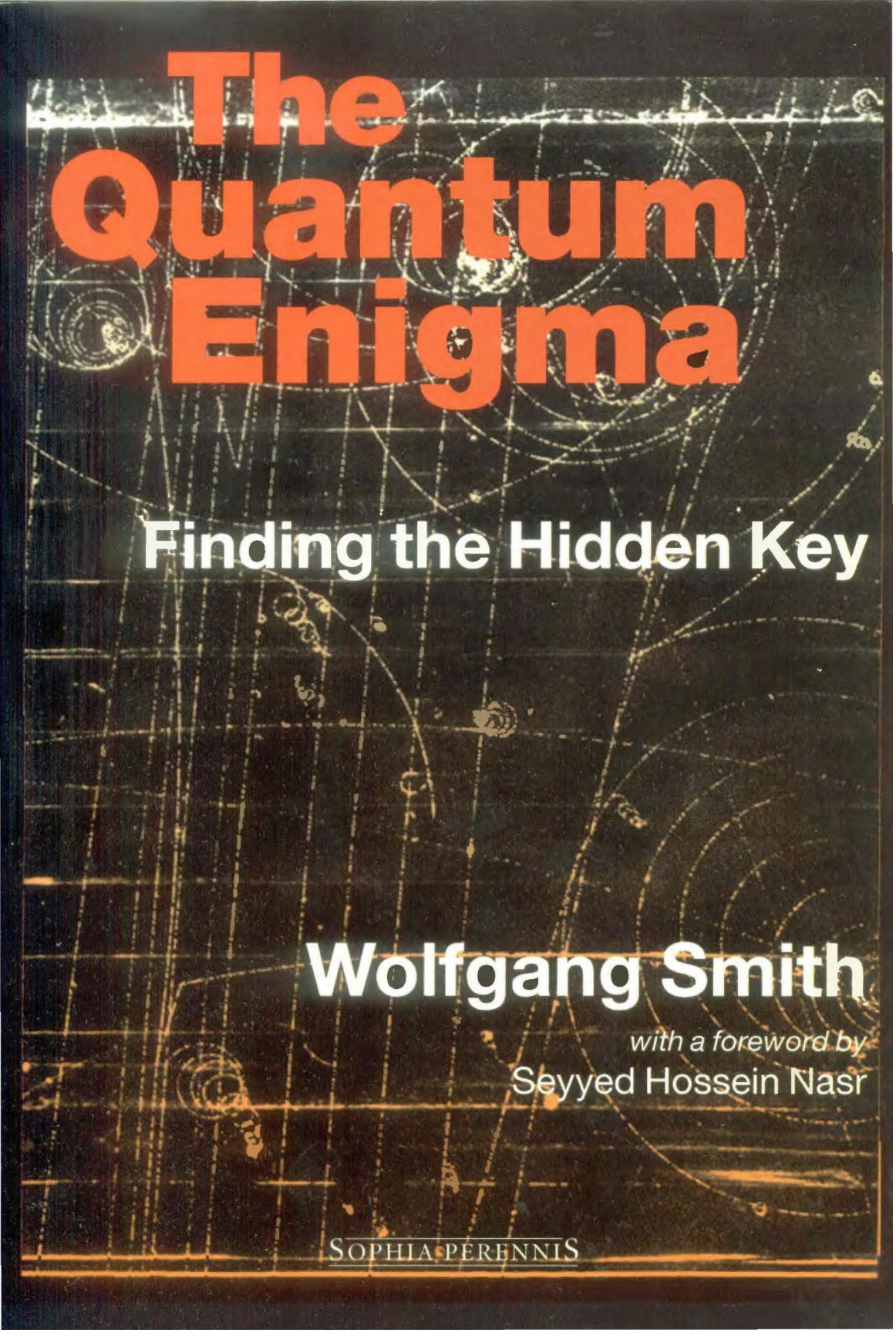
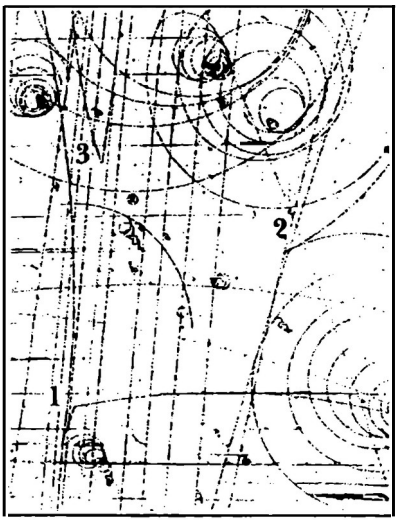
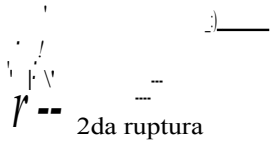

The Quantum Enigma
Finding the Hidden Key
Wolfgang Smith
with a foreword by
Seyyed Hossein Nasr
SOPHIA PERENNIS

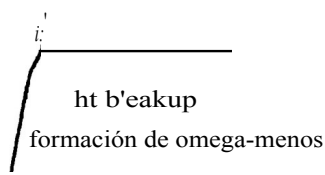
EL ENIGMA CUÁNTICO: ENCONTRAR LA LLAVE OCULTA



I /·-prnton

3V... -,,d b<e•'"'"


2da ruptura



La fotografía de la cámara de burbujas de la portada se reproduce con el permiso del Laboratorio Nacional Brookhaven. Tomada en 1964, marca el descubrimiento del omega-menos, una partícula pesada predicha por Murray Gell-Mann. Esta fotografía proporcionó la primera confirmación experimental de la teoría de los quarks de Gell-Mann, por la que recibió el Premio Nobel en 1969. Representa la formación y desintegración casi inmediata de una partícula omega-menos. La desintegración se produce en tres desintegraciones sucesivas, en cada una de las cuales la partícula desprende una dosis de lo que los físicos llaman "extrañeza". El producto final de esta secuencia es un protón (una partícula que no tiene extrañeza).

El diagrama indica la formación y los sucesivos puntos de ruptura de la partícula omega-menos. Las líneas discontinuas representan trayectorias de partículas neutras (que no dejan huellas en una cámara de burbujas). Las trayectorias restantes, por otra parte, pueden identificarse fácilmente. En la fotografía adjunta se han marcado los puntos I, 2 y 3.

Wolfgang Smith

EL ENIGMA CUÁNTICO

Encontrar la clave oculta

so.eHIA PERENNIS

HILLSDALE NY

Tercera edición revisada,
2005 Primera y segunda
ediciones revisadas,
sherwood&Sugden, 1995
©Wolfgang
Smith Todos los
derechos
reservados

Ninguna parte de este libro puede reproducirse ni
transmitirse, de ninguna forma ni por ningún medio,
sin permiso.

Para obtener información,
diríjase a: Sophia Perennis,
PO Box 611 Hillsdale NY
12529
sophia perennis.com

Datos de catalogación en publicación de la

Biblioteca del Congreso Smith, Wolfgang
El enigma cuántico: encontrar la clave
oculta*I*
Wolfgang Smith.-3fd, rev. ed.

pag.cm.

Incluye referencias bibliográficas e indice.
ISBN1597310077 (pbk: papel
alcalino)

ISBNI59731 038 7 (tapa dura: papel
alk.)
1.Teoría cuántica. 2. Ciencia-Filosofía.I.Título
QC174.13.S65 2005
530.12-dc21 2005009494

CONTENIDO

Prólogo 1

Prefacio a la tercera edición1

Prefacio a la Primera Edición 3

I Redescubriendo el mundo corpóreo7

II ¿Qué es el Universo Físico? 29

III Micromundo e indeterminación 52

IV Materia Quantitate Signata 77

v Sobre si 'Dios juega a los dados' 95

VI Causalidad vertical 109

Apéndice

Teoría cuántica: una breve introducción 127

Glosario 152

Índice de nombres 155

PREFACIO

DESDE EL COMIENZO del desarrollo de la mecánica cuántica, no sólo los físicos, especialmente Bohr y Einstein, sino también varios filósofos han dado diferentes interpretaciones sobre su significado. Sin embargo, estas interpretaciones han tenido poco éxito a la hora de proporcionar inteligibilidad a las consecuencias de lo que se observa y mide en el nivel experimental. El presente trabajo es el primero de un científico calificado que aplica no una filosofía racionalista o empírica sino la metafísica, la ontología y la cosmología tradicionales a la mecánica cuántica con el fin de proporcionar la clave para la comprensión del significado real de esta ciencia física básica. El resultado es uno de los libros más importantes que han aparecido sobre la explicación de la física moderna a la luz de las verdades eternas de la filosofía perenne y sobre la refutación categórica del cientificismo y reduccionismo que caracteriza gran parte de la comprensión actual de la ciencia moderna. .

El autor, muy conocido por los estudiantes en el campo de la rela
La relación entre religión y ciencia a través de sus primeras obras Cosmos y trascendencia y Teilhardismo y la nueva religión, así como su reciente La sabiduría de la cosmología antigua, está profundamente arraigada en la metafísica y la teología tradicionales, especialmente en la escuela de Santo Tomás de Aquino. Al mismo tiempo, es un científico destacado y versado en las complejidades de la mecánica cuántica. Por lo tanto, escribe con una autoridad que brilla a través de las páginas de su libro, proporcionando un tratamiento del tema que se sitúa en las antípodas del género de síntesis superficiales entre la física moderna y la metafísica oriental tan común hoy en día, y propugnado especialmente por ciertas corrientes de pensamiento. lo que ahora se conoce como "Las Nuevas Religiones".

En su prefacio, el autor señala que, de hecho, no existe una visión del mundo de la mecánica cuántica consistente, a pesar de la notable precisión de las predicciones basadas en sus teorías y modelos. La situación se ha vuelto tan difícil que ha provocado que una reciente autor hablar de un "mercado de la realidad". El Prof. Smith se propuso escribir este libro para descubrir la auténtica visión del mundo a la que apunta la mecánica cuántica y que puede hacer posible una comprensión inteligible de la misma.

También se proporciona una filosofía de la mecánica cuántica extraída de las doctrinas ontológicas, cosmológicas y metafísicas tradicionales, que reemplaza el cartesianismo predominante que aún subyace a la ciencia moderna a pesar de

los muchos cambios que ha provocado la mecánica cuántica. Al hacerlo, ha eliminado las contradicciones aparentes en la mecánica cuántica tal como se la ve habitualmente, y ha hecho que el tema sea inteligible desde el punto de vista de la philosophia perennis. Su clara distinción entre lo físico y lo corpóreo, que es una de las principales contribuciones del libro, ha situado el estatus ontológico de la materia de la física moderna en la jerarquía universal del ser. También ha liberado la comprensión predominante del mundo corpóreo y las ciencias cualitativas asociadas a él a lo largo de los siglos del dominio de una ciencia puramente cuantitativa, y ha destruido de una vez por todas el reduccionismo cientificista, que es uno de los pilares de la ciencia moderna y moderna. visiones del mundo posmodernas.

*El enigma cuántico*es de gran importancia no sólo para la phi
la filosofía de la ciencia, sino también para todo el ámbito del conocimiento humano, y debería difundirse lo más ampliamente posible. Marca el primer encuentro en profundidad entre la ontología tradicional y la mecánica cuántica en la mente de una persona que es un maestro en ambos dominios y es capaz de proporcionar una comprensión metafísica de la física moderna, sus logros y limitaciones. De hecho, es un contrapeso a tantas obras que van en la dirección contraria al interpretar las enseñanzas metafísicas milenarias de Oriente y Occidente a la luz de la física moderna. El libro está escrito con claridad y el tratamiento técnico matemático de la mecánica cuántica se limita a un apéndice que pueden consultar quienes tengan la formación necesaria. El trabajo en sí, sin embargo, no requiere conocimientos técnicos de física matemática, sino que se dirige a todos aquellos que buscan una comprensión del mundo que los rodea y el significado que tiene la ciencia moderna al explicar una dimensión particular de este mundo y al mismo tiempo ocultar sus aspectos cualitativos a la visión moderna. hombre. Todos aquellos abrumados y perturbados por el reduccionismo, el cientificismo y

las excesivas pretensiones de una ciencia puramente cuantitativa, y que al mismo tiempo son conscientes tanto de los logros como de las ambigüedades de la mecánica cuántica, estarán agradecidos a Wolfgang Smith por haber producido un trabajo de excepcional importancia para destruir las extravagantes pretensiones del cientificismo. y, sin embargo, desentrañar al mismo tiempo el enigma de la mecánica cuántica a la luz de doctrinas perennes que siempre han proporcionado los medios para resolver los enigmas y enigmas de la existencia y el pensamiento humanos a lo largo de los siglos.

SEYYED HOSSEIN
NASR UNIVERSIDAD GEORGE
WASHINGTON

PREFACIO
A LA TERCERA EDICIÓN

EN LA DÉCADA que ha transcurrido desde que apareció la primera edición, las concepciones básicas presentadas en este libro han demostrado ser fundamentales con respecto a una amplia gama de cuestiones cosmológicas. Una de las aplicaciones más directas, perteneciente al dominio de la astrofísica, ha sacado a la luz las limitaciones categóricas de las cosmologías contemporáneas. Parece que las lecciones ontológicas aprendidas en el contexto de la teoría cuántica resultan decisivas también en el ámbito astrofísico. Otra aplicación bastante inmediata de los mismos principios a lo que actualmente se denomina coincidencia antrópica ha alterado radicalmente el panorama: los fenómenos en cuestión resultan no ser "coincidentes" en absoluto, sino que, de hecho, están lógicamente implícitos en bases ontológicas. En lo que respecta a la cosmografía -para mencionar una tercera línea de investigación- uno encuentra que el conflicto aparente entre la ciencia moderna y las "imágenes del mundo" antiguas no es de ninguna manera tan absoluto como uno tiende a imaginar: las mismas "lecciones ontológicas aprendidas" implican que No son los llamados hechos científicos concretos los que descartan
cosmografías alternativas, pero que la incompatibilidad estipulada •.
De hecho, deriva de presuposiciones de tipo cartesiano. Uno se sorprende al ver cuán diferente se ve el mundo cuando ya no se lo mira a través de gafas cartesianas. Como regla general, se descubre que una vez expuesta y eliminada la confusión ontológica que subyace al pensamiento científico contemporáneo, queda despejado el camino para una integración de los descubrimientos científicos reales en órdenes de conocimiento pertenecientes a lo que a veces se ha denominado la sabiduría perenne de la humanidad. 1

1. Se han publicado doce estudios de este tipo enmilibro reciente,*La sabiduría de la cosmología antigua*(Oakton, VA: Fundación de Estudios Tradicionales, 2003).

Entre las ideas introducidas en el contexto de la teoría cuántica que han encontrado aplicación más allá de la física, merece destacarse el concepto de "causalidad vertical", definido en el capítulo 6, debido a su íntima conexión con un nuevo y cada vez más influyente dominio de la ciencia. ciencia conocida como teoría del diseño inteligente. El resultado central de la teoría del DI es un teorema según el cual una cantidad denominada información compleja especificada no puede aumentar mediante ningún proceso temporal, ya sea determinista, aleatorio o estocástico.2 Esto significa, a la luz de nuestro análisis, que la causalidad vertical por sí sola puede dar lugar a CSL. Nuestro resultado principal, en el sentido de que el colapso del vector de estado también debe atribuirse a la causalidad vertical, asume por lo tanto una mayor importancia. La causalidad vertical, lejos de constituir un deus ex machina para la resolución de la paradoja cuántica, como podrían acusar los críticos, constituye de hecho un principio universal de causalidad que la ciencia moderna está obligada finalmente a reconocer. Resulta que una multitud de fenómenos naturales, desde el colapso de un vector estatal hasta la génesis de organismos biológicos, exigen ese tipo de causalidad hasta ahora no reconocida. Dado el hecho de que la ciencia contemporánea, por la propia naturaleza de su modus operandi, está orientada a abordar exclusivamente modos de causalidad temporales u "horizontales", esto implica que los fenómenos en cuestión no pueden, estrictamente hablando, explicarse o entenderse en términos científicos. Nos guste o no, los principios metafísicos han entrado forzosamente en escena, desafiando el naturalismo predominante.

La presente Tercera Edición ofrece una versión revisada del Capítulo 6. En la presentación original, el tema de la causalidad vertical fue abordado a través de la cosmología astrofísica, que hasta ahora no había explorado adecuadamente, ya sea desde un punto de vista científico o ontológico. Mientras tanto, desde ambas direcciones han surgido dificultades con respecto a esa teoría, de las que yo no era suficientemente consciente en el momento de escribir el texto original.3 En el nuevo

2. Un proceso estocástico es aquel que implica tanto azar como necesidad, como es el caso, por ejemplo, del movimiento browniano. Para una breve descripción de la teoría del DI y su conexión con la causalidad vertical me refiero a *La sabiduría de la cosmología antigua,* cap. 10.

3. Cabe señalar que desde un punto de vista lógico, e incluso simbolista, la conexión entre la singularidad inicial estipulada y la causalidad vertical

En la versión del capítulo 6 he abandonado toda referencia a la cosmología del big bang y he abordado directamente las cuestiones etiológicas. Después de presentar el concepto de causalidad vertical en términos generales, procedo a explicar su relevancia no sólo para el fenómeno del colapso del vector de estados, sino también para la mecánica cuántica en general. Lo que parece incongruente y extraño desde el habitual ángulo de visión cartesiano resulta ahora ser precisamente lo que se requiere en la ontológica: esto es lo que saca a la luz la serie de argumentos, iniciados en el capítulo 1 y consumados en el capítulo 6.

PREFACIO A LA PRIMERA EDICIÓN

ESTE LIBRO TRATA SOBRE FÍSICA CUÁNTICA, o lo que se ha denominado el problema de la "realidad cuántica". Se trata de un enigma que ha atormentado a físicos, filósofos y a un público cada vez más amplio durante décadas. La literatura pertinente es vasta, y parecería que casi todas las vías concebibles para abordar el problema -por muy rebuscadas que parezcan- han sido defendidas y exploradas en alguna parte. ¡Atrás quedaron los días en que se podía invocar la autoridad de la física en apoyo de una única visión del mundo establecida! Lo que ha sucedido es que la visión cientificista del mundo precuántica (ahora denominada "clásica") ha llegado a ser repudiada "en la cima": por físicos capaces de captar las implicaciones de la teoría cuántica. Y esto, a su vez, ha provocado una abundancia de alternativas conjeturadas, que compiten entre sí, por así decirlo, para llenar el vacío ontológico, situación que ha llevado a un autor reciente a hablar de un "mercado de la realidad". La mecánica cuántica, por así decirlo, es una teoría científica en busca de una Weltanschauung. El la búsqueda ha estado en marcha desde 1927.4

como se explica en la versión original del Capítulo 6 sigue siendo válido, independientemente de si la cosmología del big bang demuestra ser objetiva.

4. La nueva física nació durante los años1925y1926.Cuando los físicos se reunieron en Como en1927Para la Conferencia Internacional de Física se habían sentado las bases de la teoría cuántica no relativista. Fue más tarde durante

Mientras tanto, el espectáculo de una docena de científicos de primer nivel que promueven doce visiones del mundo diferentes no resulta nada tranquilizador; y existe la tentación de concluir que la verdad es inalcanzable o, peor aún, que es relativa, una cuestión simplemente de opinión personal.

Lo que se necesita, sin embargo, es una mirada más cercana a los fundamentos del pensamiento científico: a los supuestos ocultos que han condicionado nuestras percepciones intelectuales contemporáneas. Una modesta investigación de cuestiones generalmente ignoradas basta para revelar un hecho sorprendente: sucede que cada posición de la realidad cuántica enunciada hasta ahora depende de una misma presuposición ontológica, un principio que además se deriva de las especulaciones filosóficas de Galileo y Descartes, y que, sorprendentemente, ha sido atacado dura y convincentemente por algunos de los filósofos más eminentes del siglo XX. De hecho, puede parecer extraño que una suposición ontológica que se ha vuelto así sospechosa, por decir lo menos, haya permanecido incuestionable a lo largo y ancho de la historia.

amplitud del debate sobre la realidad cuántica;5 pero hay que recordar que la noción de la que hablamos se ha arraigado en la mentalidad científica hasta el punto de que difícilmente puede reconocerse como una presuposición, y mucho menos como una premisa espuria que debe desaparecer.

Mi afirmación fundamental ahora puede formularse de manera bastante simple: elimine este error, exponga esta suposición virtualmente ubicua como la falacia que es, y las piezas del rompecabezas cuántico comenzarán a encajar en su lugar. De hecho, las mismas características de la teoría cuántica que, antes de esta rectificación ontológica, parecían las más incomprensibles, resultan ahora las más esclarecedoras. Como se puede suponer, estos rasgos dan testimonio, a nivel técnico, de un hecho ontológico, de una verdad hasta entonces oscurecida.

El mismo año, cuando los físicos se reunieron de nuevo en Bruselas para la Quinta Conferencia Solvay, el debate cuántico estalló con toda su fuerza, por así decirlo, en la forma del célebre intercambio entre Bohr y Einstein.

5. La única excepción parece ser el caso de Werner Heisenberg. Pero mientras que

Heisenberg ha cuestionado ocasionalmente la premisa ofensiva y ha llegado incluso a sugerir que puede ser la principal causa de incomprensión entre los físicos; no obstante, su propia interpretación de la teoría cuántica, como

veremos, presupone este principio.

Mi primer objetivo importante será identificar esta premisa elusiva y falaz y refutarla con máxima contundencia. Después de esto, tendré que dar una explicación revisada del modus operandi por el cual se define la física, una explicación que ya no depende del ahora descalificado ·axioma. Una vez hecho esto, estaremos en condiciones de reflexionar de nuevo sobre los hallazgos más destacados de la teoría cuántica, para ver si estos hechos extraños y desconcertantes pueden por fin comprenderse. Y ésta es la tarea que ocupará el resto del libro.

En lo más alto de la lista de <hechos extraños» que exigen una explicación se encuentra el fenómeno del colapso del vector de estados, que bien podría denominarse el enigma central de la física cuántica. Plantea un problema fundamental que no puede ignorarse ni pasarse por alto si uno quiere comprender la naturaleza del universo físico y su relación con cualesquiera otros planos ontológicos que existan.

Consideraciones de este tipo, entretanto, no tienen por qué detener al físico en activo, ni alteran el hecho de que la mecánica cuántica es, sin lugar a dudas, la teoría científica más exacta, más universal y más sofisticada jamás propuesta por el hombre. En miles de experimentos sutiles nunca se ha demostrado que esto fuera erróneo. Pero la teoría cuántica hace más que responder a una multitud de preguntas: también plantea algunas propias. Y mientras que la física clásica, que en comparación es tosca e inexacta, generalmente inspira sueños de omnisciencia, la nueva física aconseja precaución y una sobriedad adecuada.

Siguiendo estas breves observaciones, diré enfáticamente que el presente libro está escrito tanto para el público general como para el público en general.

Lector <no matemático' como para el físico interesado. Tengo
Se ha esforzado en no presuponer ningún conocimiento técnico de la física, ni ningún conocimiento previo de la literatura sobre la realidad cuántica. Los conceptos técnicos necesarios de la teoría cuántica se explicarán brevemente en términos convenientemente simplificados. Las nociones o referencias técnicas inexplicadas que quedan son invariablemente ajenas al argumento principal y no deberían causar preocupación al lector en general. Para los lectores interesados en las matemáticas, he adjuntado una breve introducción a la teoría cuántica, que proporciona una idea de su estructura matemática.

Ocasionalmente he utilizado términos filosóficos que tal vez no sean familiar, y me he visto obligado, aquí y allá, a acuñar algunas expresiones técnicas propias. En cada caso, he hecho todo lo posible por explicar el significado de estas

palabras especiales en el lugar donde se introducen por primera vez. También se proporcionan breves definiciones en un glosario.

Por último, es necesario subrayar que a pesar de su apariencia aparentemente "específica"De naturaleza especializada", el problema de la realidad cuántica es sin lugar a dudas la pregunta más universalmente significativa que la ciencia dura haya planteado jamás. Lo que exige, claramente, es una visión integral del mundo que rompa radicalmente con lo acostumbrado, lo "clásico"; y eso es lo que propongo ofrecer en la secuela. Sin embargo, no intentaré anticipar las conclusiones de la investigación en estas observaciones preliminares. En cuanto a las concepciones ontológicas requeridas, éstas se desarrollarán en el contexto de la problemática de la realidad cuántica, cada una en su lugar.

I

REDESCUBRIENDO EL MUNDO CORPORAL

LAS DIFICULTADES Y DE hecho LAS PERPLEXIDADES que nos acosan El momento en que intentamos encontrar un sentido filosófico a los hallazgos de la teoría cuántica se debe, no sólo a la complejidad y sutileza del micromundo, sino, ante todo, a una adhesión a ciertas premisas metafísicas falsas, que han ocupado una posición de dominio intelectual. desde la época de René Descartes.

¿Cuáles son estas premisas? Para empezar, está la concepción cartesiana de un mundo externo compuesto exclusivamente por las llamadas res extensae o 'entidades extendidas'; respecto de lo cual se supone que están desprovistos de todo atributo cualitativo o "secundario", como el color, por ejemplo. Todo lo demás queda relegado, según esta filosofía, a las llamadas res cogitantes o "entidades pensantes", cuyo acto constitutivo, por así decirlo, no es la extensión, sino el pensamiento. Así, según Descartes, cualquier cosa en el universo que no sea una res extensa es, por tanto, "un objeto de pensamiento", como diríamos nosotros, o en otras palabras, una cosa que no tiene existencia fuera de una res cogitans o mente particular.

Es cierto que la dicotomía tiene su utilidad; pues, en efecto, al relegar los llamados atributos secundarios al segundo de los compartimentos cartesianos, se ha logrado de un solo golpe una simplificación incalculable del primero. De hecho, lo que queda es precisamente el tipo de "mundo exterior" que la física matemática podría en principio comprender "sin residuos". Sin embargo, hay que pagar un precio: una vez que el real se ha partido en dos, aparentemente nadie sabe cómo volver a unir las piezas. ¿Cómo, en particular, adquiere la res cogitans el conocimiento de la res extensa? Por percepción, sin duda; pero entonces, ¿qué es lo que percibimos? Ahora bien, en la época precartesiana, tanto los filósofos como los no filósofos pensaban generalmente que en el acto de percepción visual, por ejemplo, realmente "miramos hacia el mundo exterior". No es así, declara René Descartes; y con razón, dado que se ha aceptado la dicotomía cartesiana. Porque si lo que realmente percibo es un objeto rojo, digamos, entonces debe pertenecer ipso facto a la res cogitans, por la sencilla razón de que la res extensa no tiene color alguno. Así, siguiendo sus supuestos iniciales, no fue por elección sino por la fuerza de una necesidad lógica que Descartes se vio llevado a postular lo que desde entonces se conoce como "bifurcación": la tesis de que el objeto perceptual pertenece exclusivamente a res cogitans, o que lo que realmente

percibimos, en otras palabras, es privado y subjetivo. En flagrante oposición a la creencia común, el cartesianismo insiste en que no "miramos hacia el mundo exterior"; Según esta filosofía, en realidad estamos encerrados, cada uno en su propio mundo privado, y lo que normalmente consideramos parte del universo externo no es en verdad más que un fantasma, un objeto mental -como un sueño- cuya existencia no extenderse más allá del acto perceptivo.

Pero esta posición es, cuanto menos, precaria; porque si el acto de percepción no abarca de hecho la brecha entre los mundos interior y exterior (entre res cogitans y res extensa), ¿cómo se salva entonces esa brecha? En otras palabras, ¿cómo es posible conocer cosas externas, o incluso saber que existe un mundo externo? El propio Descartes, como se recordará, experimentó grandes dificultades para superar sus célebres dudas, y sólo pudo hacerlo mediante un argumento tortuoso que pocos hoy encontrarían convincente. ¿No es extraño que científicos de mentalidad dura hayan abrazado tan fácilmente y durante tanto tiempo una doctrina racionalista que pone en duda la posibilidad misma del conocimiento empírico?

Pero entonces, si uno ignora este impasse epistemológico -o pretende que ha sido resuelto-, puede obtener satisfacción del aparente beneficio que confiere el cartesianismo: porque, como ya he señalado, la simplificación del mundo externo resultante a partir de la bifurcación hace posible una física matemática de alcance ilimitado. Pero la cuestión, en cualquier caso, no es si la bifurcación es en algún sentido ventajosa, sino simplemente si es

verdadero y realmente sostenible. Y esa es la cuestión que, en primer lugar, debe resolverse; todas las demás cuestiones relativas a la interpretación de la física son obviamente consecuencia de esto y, por tanto, deben esperar su turno.

❖ ❖ ❖

Antes de la ciencia, antes de la filosofía, antes de toda investigación racional, el mundo existe y es conocido en parte. No existe necesariamente en el sentido específico en el que ciertos científicos o filósofos pueden haber imaginado que existe o no, sino precisamente como algo que puede y debe presentarse en ocasiones a nuestra inspección. Además, debe presentarse así por una especie de necesidad lógica, pues pertenece a la concepción misma de un mundo ser parcialmente conocido, del mismo modo que pertenece a la naturaleza de un círculo encerrar alguna región del plano. O para decirlo de otra manera: si el mundo no fuera conocido en parte, ipso facto dejaría de ser

el mundo; en cualquier caso, "nuestro" mundo. ¡Así pues, en cierto sentido, que sin embargo puede ser fácilmente malinterpretado! el mundo existe "para nosotros"; está ahí para nuestra inspección; Como he dicho.

Ahora bien, esa inspección, sin duda, se realiza por medio de nuestros sentidos, por medio de la percepción; sólo que hay que entender desde el principio que la percepción no es sensación pura y simple, es decir, que no es sólo una recepción pasiva de imágenes, ni un acto desprovisto de inteligencia humana. Pero independientemente de cómo se consuma el acto, lo cierto es que percibimos las cosas que nos rodean; Si las circunstancias lo permiten, podemos verlos, tocarlos, oírlos, saborearlos y olerlos, como todo el mundo sabe muy bien.

Por tanto, es inútil y perfectamente vacío hablar del mundo como algo que en principio es imperceptible e imperceptible; y además, es una ofensa contra el lenguaje, muy parecido a decir que el océano está seco o un bosque vacío. Pues el mundo es manifiestamente concebido como el lugar de las cosas perceptibles; consiste en cosas que, si bien ahora no pueden ser percibidas realmente, podrían ser percibidas en condiciones adecuadas: he ahí el quid de la cuestión. Por ejemplo, ahora percibo mi escritorio (a través de los sentidos de la vista y el tacto); y cuando salga de mi estudio, ya no lo percibiré; pero la cuestión es, por supuesto, que a mi regreso podré percibirlo nuevamente. Como el obispo Berkeley había observado correctamente que decir que un objeto corpóreo existe es decir, no que se percibe, sino que puede ser percibido y será percibido en circunstancias apropiadas.

Es esta verdad vital y a menudo olvidada la que subyace a su justamente celebrada frase:*'Esse est percipi'*("Ser es ser percibido"), a pesar de que esta afirmación tan elíptica puede interpretarse en el sentido de un idealismo espurio. Este peligro -del que fue víctima el propio obispo irlandés 1- surge, además, principalmente de la circunstancia de que el percipi de la fórmula de Berkeley puede fácilmente malinterpretarse. Como ya he señalado, la percepción puede malinterpretarse como una mera sensación; y eso es esencialmente lo que la mayoría de los filósofos entendieron, desde la época de John Locke hasta el siglo XX, cuando sucedió que esta visión cruda e insuficiente fue sometida a escrutinio y descartada por las principales escuelas.

❖ ❖ ❖

Suponiendo que percibamos el objeto externo, hay que admitir, por supuesto, que sólo somos capaces de percibirlo en parte, y que la mayor parte de la entidad, por así decirlo, permanece forzosamente oculta a la

vista. Así, en el caso primordial, que es evidentemente el de la percepción visual, normalmente es la superficie exterior la que es visible, mientras que el interior permanece imperceptible. Ahora bien, a algunos puede parecerles que para percibir un objeto uno tendría que percibirlo en su totalidad, hecho que obviamente implicaría que nunca podremos percibir nada en absoluto. Pero entonces, ¿la circunstancia de que percibimos sólo en parte no milita en realidad, no contra la suposición de que percibimos objetos externos, sino precisamente contra la visión de "todo o nada" de la percepción?

El hecho es que pertenece a la naturaleza misma del objeto manifestarse sólo en parte, del mismo modo que pertenece a un círculo, digamos, excluir una porción indefinida del plano. Hay una simple y

1. He discutido las filosofías de Descartes, Berkeley y Kant a propósito de la bifurcación en*Cosmos y trascendencia* (Perú, Illinois: Sherwood Sugden&Co.,1984),cap.2.

"Principio de indeterminación" obvio, operativo dentro del dominio corporal familiar, que afirma que ni el mundo externo en general, ni el menor objeto en él, pueden ser conocidos o percibidos "sin residuos". Por lo demás, no puede ser conocido, no simple o unilateralmente, debido a una cierta incapacidad del observador humano, sino también por la naturaleza misma de la entidad corpórea. Por supuesto, siempre es posible percibir más, y así ampliar nuestro conocimiento perceptivo, del mismo modo que es posible ampliar un círculo; lo que no es posible, por otra parte, es "agotar" el objeto a través de la percepción: ampliar el círculo hasta el punto en que cesa. excluir algún "remanente infinito" del plano, pues cabe señalar que un objeto corpóreo "plenamente percibido" dejaría de ser un objeto corpóreo, del mismo modo que un círculo "sin exterior" dejaría de ser un círculo.

En pocas palabras: si pudiéramos "mirar al mundo" con el Ojo de Dios, el mundo como tal dejaría de existir inmediatamente, del mismo modo que las imágenes de una pantalla de cine desaparecerían en el momento en que se enciende una luz suficientemente brillante.

La metáfora cinematográfica, por supuesto, no debe llevarse demasiado lejos; porque si Dios "ve" el mundo corpóreo, esta "percepción" obviamente no borra el contenido de ese mundo. Pero aunque las entidades corpóreas permanecen, no son lo que un observador omnisciente contemplaría; la cuestión es, una vez más, que un objeto corpóreo "plenamente conocido" dejaría ipso facto de ser un objeto corpóreo. Debemos tener en cuenta que estas entidades (por definición, si se quiere) existen "para nosotros" como cosas que deben explorarse mediante la percepción.

El hecho es que "nosotros" estamos de alguna manera presentes en la escena; no, en este caso, como un objeto, sino precisamente como un sujeto. Y aunque esta presencia subjetiva puede olvidarse o ignorarse, no puede exorcizarse, lo que equivale a decir que, tras un examen más detenido, inevitablemente aparecerá en la naturaleza misma del objeto mismo. De diversas maneras, el objeto muestra necesariamente las marcas de la relatividad, de estar orientado, por así decirlo, hacia el observador humano.

Acabamos de considerar una de esas "marcas": que pertenece al objeto que debe ser conocido o percibido sólo en parte. Sin embargo, además del hecho de que percibimos sólo en parte, también es claro que lo que percibimos es incurablemente "contextual". Y esto también constituye una característica inalienable del objeto mismo. En otras palabras, los atributos de un objeto corpóreo son, sin excepción, contextuales en cierto sentido.

Examinemos el asunto. La forma percibida de un cuerpo, por ejemplo, depende de nuestra posición relativa al objeto, del mismo modo que el color

percibido depende de la luz con la que se ve. Pero mientras que la contextualidad de la forma se acepta generalmente sin escrúpulos, uno se inclina a argumentar que, en la medida en que el color es un "atributo contextual", debe ser también un "atributo secundario" en el sentido cartesiano. ¿Pero por qué? ¿Qué impide realmente que un atributo contextual sea objetivamente real? La respuesta es que nada obstaculiza tanto, siempre y cuando tengamos una noción realista de objetividad.

En lo que respecta a la contextualidad de la forma, es evidente que las formas bidimensionales percibidas pueden entenderse como proyecciones planas de una "forma" tridimensional invariante; y, sin embargo, esa forma tridimensional, y de hecho todos los llamados atributos primarios, por "invariantes" que sean, también son forzosamente contextuales en un sentido más fundamental. Un atributo, después de todo, no es ni más ni menos que una característica observable de la interacción. La masa, por ejemplo, es una característica observable de las interacciones gravitacionales e inerciales; así decimos que un cuerpo tiene tantos gramos de masa si, al colocarlo en una balanza, observamos una desviación o lectura correspondiente del puntero.

En el caso de los atributos cualitativos el principio es el mismo; color, por ejemplo, también es "una característica observable de la interacción", ya que, como sabemos, el color de un objeto se percibe cuando este último interactúa con un haz de luz reflejándolo. Por supuesto, existe una diferencia enorme entre los atributos cualitativos y cuantitativos; de hecho, una diferencia "categórica";2 el enrojecimiento, por ejemplo, a diferencia de la masa, no es algo que pueda deducirse de las lecturas del puntero, sino algo que se determina directamente percibido. Por lo tanto, no puede cuantificarse ni introducirse en una fórmula matemática y, en consecuencia, no puede concebirse como una invariante matemática. Y, sin embargo, el enrojecimiento también es una especie de invariante; porque, de hecho, si un observador capaz ve un objeto rojo con luz blanca, se mostrará rojo... ¡siempre!

2. Después de todo, Aristóteles fue sabio al postular "cantidad" y "calidad" como categorías separadas e irreductibles.

Pero ambos tipos de atributos no sólo son incurablemente contextuales, sino que ambos son igualmente objetivos: el color no menos que la masa. Ser objetivo, después de todo, es pertenecer al objeto; pero ¿qué es un objeto corpóreo sino una cosa que manifiesta atributos -tanto cuantitativos como cualitativos, por cierto- dependiendo de las condiciones en las que se encuentra? Así, el objeto, lejos de ser una res extensa cartesiana o un Ding an sich kantiano, de hecho está concebido o definido en términos de sus atributos. Para ser precisos, el objeto concreto se especifica idealmente en términos de toda la plétora de sus atributos; y si bien cada uno de estos atributos es en principio observable, está en la naturaleza de las cosas que la mayoría de ellos permanecerán para siempre sin ser observados.

Lo que necesitamos sobre todo comprender es que nada en el mundo "simplemente existe": pero que existir es precisamente interactuar con otras cosas, incluidos, en última instancia, los observadores. Por lo tanto, el mundo no debe concebirse como una mera yuxtaposición de tantas entidades individuales o autoexistentes -sean res extensae, o "átomos: o lo que se quiera", sino que debe verse más bien como una unidad orgánica, en la que cada elemento existe en relación con todos los demás y, por tanto, en relación con la totalidad, que incluye también, y por fuerza de necesidad, un polo consciente o subjetivo. Además, este descubrimiento fundamental, que hoy en día muchos asocian con descubrimientos recientes en el campo de la física cuántica -o con el misticismo oriental, de hecho- puede realizarse fácilmente "a simple vista: por así decirlo, ya que pertenece tanto a el mundo corpóreo percibido por los sentidos como el recién descubierto dominio cuántico; lo único que ocurre es que durante varios siglos se nos ha impedido considerar los primeros sin prejuicios y distorsiones causadas por preconcepciones erróneas de tipo cartesiano.

❖ ❖ ❖

Podría plantearse la objeción de que atributos cuantitativos, como la masa, aunque sean contextuales, pueden concebirse como existentes en el mundo externo, mientras que éste no es el caso, supuestamente, cuando se trata de una "cualidad perceptiva" como enrojecimiento. Parecería, por tanto, que un "universo puramente objetivo" -un universo, digamos, en el que no hay ningún observador- puede efectivamente

ser concebido, pero sólo con la condición de que no contenga atributos secundarios (como el enrojecimiento).

Examinemos esta línea de pensamiento. Para empezar, no podemos dejar de estar de acuerdo en que la idea de una cualidad, como el enrojecimiento, hace referencia a la percepción, es decir, que el enrojecimiento es ineluctablemente algo que uno percibe. Pero esto no implica en modo alguno que una cosa no pueda ser roja a menos que sea realmente percibida; porque obviamente hablamos de cosas que no se perciben como rojas, lo que significa que se mostrarían rojas si fueran percibidas (siempre, por supuesto, bajo la condición de que sean vistas en la luz apropiada y por un observador normal o capacitado). La afirmación de que un objeto dado es rojo es, por tanto, condicional y, en virtud de esta condicionalidad, preconcretamente, que su verdad es independiente de si el objeto es realmente percibido o no. Por lo tanto, podemos estar seguros de que un Jonathan maduro, por ejemplo, es rojo incluso si no hay nadie en el huerto que pueda percibirlo; y si la vida inteligente en la Tierra desapareciera repentinamente, no hay razón para dudar de que el Jonathan seguiría siendo rojo.

Hay un sentido, entonces, en el que un universo repleto de cualidades cualitativas

Se puede decir que los atributos existen 'en ausencia de observadores humanos'; La verdadera pregunta, por tanto, es si se podría afirmar algo más que esto con referencia a un universo imaginado del que se han eliminado todas las cualidades. Ahora bien, hay que admitir, por supuesto, que los atributos cuantitativos, como la masa, por ejemplo, se refieren menos directamente a la percepción (ya sea visual, táctil o de cualquier otra índole) que el color; y esta es la razón, presumiblemente, por la que puede ser más fácil pensar en los primeros como "atributos primarios, en el sentido cartesiano clásico". Pero no debemos olvidar que los atributos cuantitativos que interesan a la física están, después de todo, definidos empíricamente, es decir, que su definición implica una referencia necesaria a la percepción sensorial, por indirecta o remota que sea esa referencia. Es cierto que la masa de un cuerpo no se percibe directamente (aunque el sentido cinestésico puede en algunos casos darnos una estimación aproximada), y que a este respecto la masa difiere del color; pero también hay que señalar que la medición u "observación" de la masa se consuma necesariamente mediante un acto perceptivo. Así, decir que un cuerpo tiene tal o cual masa es decir que una medida de su masa

dar el valor en cuestión, lo que significa, una vez más, que si llevamos a cabo una determinada operación, se producirá la correspondiente percepción sensorial (por ejemplo, percibiremos tal o cual número en una escala). Por tanto, el caso de la masa y de los demás atributos llamados primarios no es tan diferente del del color como pueden pensar los cartesianos; porque en ambos casos la predicación del atributo (tanta masa, o tal o cual color) constituye un enunciado condicional de exactamente la misma forma lógica. Por lo tanto, una masa no menos que un color es, en cierto sentido, una potencia que debe actualizarse mediante un acto inteligente que implica la percepción sensorial. Pero como potencia cada uno existe en el mundo exterior, es decir, cada uno existe, ya que cada uno es una potencia. Es todo lo que lógicamente podemos pedir o esperar razonablemente de un atributo: exigir más equivaldría a pedir que se actualice y no se actualice al mismo tiempo.

Por lo tanto, en lo que respecta a la objetividad y la independencia del observador, los argumentos a favor de la masa y del color son igualmente válidos; ambos atributos son de hecho objetivos e independientes del observador en el sentido más fuerte imaginable. Lo único que ocurre es que en el caso de los atributos de masa y de otros atributos "científicos", la complejidad de la definición hace que sea más fácil -psicológicamente, podríamos decir- esperar lo imposible: en otras palabras, olvidar que el mundo está ahí "para nosotros". , -como un campo a explorar a través del ejercicio de nuestros sentidos.

❖ ❖ ❖

Puede resultar instructivo reflexionar sobre el hecho de que existen percepciones "ilusorias": por ejemplo, cuando miramos una película o un programa de televisión, percibimos -o parecemos percibir- objetos que en realidad no están presentes; no hay montañas ni ríos dentro de los límites del teatro, ni hombres disparándose unos a otros en nuestra sala de estar; y, sin embargo, percibimos estas cosas como si fueran reales. ¿No respalda esto en sí mismo la tesis bifurcacionista? ¿No muestra que lo que percibimos es de hecho subjetivo, un mero fantasma situado de alguna manera en el cerebro o la mente del perceptor?

Ahora bien, esto demuestra ciertamente que lo que percibimos puede ser subjetivo, es decir, que existe algo llamado una "ilusión óptica o una ilusión óptica".

percepción falsa. Pero ¿prueba esto que toda percepción es ilusoria o falsa? Obviamente no. En efecto, el hecho mismo de que hablemos de una ilusión óptica, o de una percepción falsa, indica que también deben existir percepciones que no sean ilusorias ni falsas.

¿Cuál es entonces la diferencia entre los dos casos? La diferencia, claramente, es que una percepción verdadera o auténtica satisface "criterios de realidad" apropiados. Si percibo un río, la pregunta es ¿puedo saltar a él? Y si percibo un caballo, la pregunta es: ¿puedo subirme a su lomo? Así, con cada supuesta percepción de una entidad corpórea se asocia un síndrome de "expectativas operativas" que en principio puede ponerse a prueba; y si (en caso de duda) se ha comprobado y verificado algún subconjunto razonable de estos, entonces consideramos que la cosa en cuestión es en realidad lo que hemos percibido que es: si puedo montarla, engancharla a una carreta. , y le damos de comer heno, entonces es un caballo. Y claro, mi percepción inicial del caballo no era ilusoria, sino cierta. Tales son los criterios de la realidad en función de los cuales se distingue entre percepciones verdaderas y falsas, y no dejemos de señalar que la validación de una percepción dada se logra necesariamente por medio de otras percepciones, por circular que este procedimiento pueda parecerle al teórico. .

Por otra parte, cuando el bifurcacionista nos informa que las percepciones son "ilusorias" (o "subjetivas"), no quiere decir que sean ilusorias o falsas en el sentido normal. Para el filósofo cartesiano, mis percepciones del escritorio sobre el que estoy escribiendo son tan "ilusorias" como lo es la percepción de montañas y ríos en un teatro, pues ambos son supuestamente fantasmas privados. Sin duda, el cartesiano también distingue entre percepciones que son verdaderas o falsas en el sentido habitual; lo hace suponiendo que en el caso de una percepción verdadera existe un objeto externo que corresponde a lo perceptivo en ciertos aspectos específicos. Según esta filosofía, existen en efecto dos escritorios: el escritorio "mental" que percibo, y el escritorio externo que no percibo. Y los dos son bastante diferentes: el primero, por ejemplo, es marrón y carece de extensión en el espacio, mientras que el segundo está extendido pero no es marrón. Pero a pesar de estas diferencias, los dos son supuestamente similares en ciertos aspectos: si el escritorio que percibo parece tener una tapa rectangular, el escritorio externo también tiene una tapa rectangular, y así sucesivamente. Pero todo

Estas afirmaciones cartesianas son, por supuesto, puramente conjeturales, es decir, que en principio es imposible determinar si alguna de ellas es cierta. Más precisamente, si el dogma de la bifurcación fuera cierto, entonces la correspondiente teoría de la percepción de los dos objetos sería ipso facto no verificable, por la razón obvia de que no habría manera alguna de descubrir si el objeto externo existe, y mucho menos si existe. es geométricamente similar a lo perceptivo. Un objeto es todo lo que podemos observar, y la estipulación de que hay dos es perfectamente gratuita. La teoría de la percepción de los dos objetos, no menos que el principio bifurcacionista en el que se basa, constituye, por tanto, una premisa metafísica que no puede ser verificada ni falsificada por ningún medio empírico o científico.

Nuestra pregunta era si el hecho de que existan percepciones "ilusorias" en el sentido ordinario presta apoyo a la afirmación bifurcacionista; y ahora ha quedado claro que efectivamente no es así. El hecho de que existan ilusiones ópticas o percepciones alucinatorias no demuestra en nada que en el caso de una percepción ordinaria existan en realidad dos objetos tal como los concibe la filosofía cartesiana. De hecho, parecería ser el caso lo contrario: pues si una ilusión óptica o una alucinación se caracteriza por el hecho de que el acto perceptivo fracasa, entonces esto implica que en el caso de las percepciones normales no fracasa; lo que presumiblemente significa que lo que entonces percibimos es precisamente el objeto externo.

❖ ❖ ❖

Surge la pregunta de por qué el pensamiento occidental debería haber estado dominado durante tanto tiempo por la filosofía cartesiana, una doctrina especulativa que contradice nuestras intuiciones más básicas y para la cual, en principio, no puede haber evidencia que la corrobore. ¿Y por qué el científico, precisamente, debería abrazar esta enseñanza quimérica, que en efecto hace que el mundo externo sea incognoscible por medios empíricos? Se podría pensar que despreciaría la especulación cartesiana como el más vano de los sueños y, de todas las fantasías metafísicas, el más enemigo de su propósito. Y, sin embargo, a partir del siglo XVII, como sabemos, el cartesianismo y la física han estado estrechamente unidos, hasta tal punto que para el observador superficial podría parecer

Parece que el dogma de la bifurcación constituye efectivamente un principio científico, respaldado por todo el enorme peso del descubrimiento físico. Después de todo, fue el propio gran Newton quien se casó en este curioso matrimonio, y tan bien que hasta el día de hoy la unión ha demostrado ser prácticamente indisoluble. 3

Sin embargo, ni la premisa cartesiana ni su asociación con la física eran en realidad algo completamente nuevo bajo el sol, pues parece que el primer bifurcacionista declarado en la historia del pensamiento humano no fue otro que Demócrito de Abdera, el padre reconocido del atomismo. 'Según la creencia vulgar; declara Demócrito, 'existen los colores, lo dulce y lo amargo; pero en realidad sólo los átomos y el vacío.' 4 Hay una conexión necesaria, además, entre las dos mitades de la doctrina, la cuestión es que quien quiera explicar el universo en términos de "átomos y el vacío" debe, en primer lugar, negar la realidad objetiva de las cualidades percibidas por los sentidos. corbatas. Porque como observó Descartes con admirable claridad:

> Podemos concebir fácilmente cómo el movimiento de un cuerpo puede ser causado por el de otro y diversificado por el tamaño, figura y situación de sus partes, pero somos del todo incapaces de concebir cómo estas mismas cosas [tamaño, figura y movimiento] pueden producen algo más de una naturaleza enteramente diferente de ellos mismos, como por ejemplo, aquellas formas sustanciales y cualidades reales que muchos filósofos suponen que están en los cuerpos. 5

Y agreguemos que, aunque Descartes no asume un modelo atomista de la realidad externa, la diferencia es bastante irrelevante en lo que respecta al punto en cuestión; porque ya sea que se piense en términos de res extensae continua o en términos de átomos demócritas, el pasaje citado es suficiente en cualquier caso para explicar por qué una física totalista -una física que entendería el universo "sin residuos"- está obligada a aceptar la bifurcación. , casi como un "mal necesario", se podría decir.

3. Véase especialmente EA Burtt,*Los fundamentos metafísicos de la ciencia física moderna*(Nueva York: Humanities Press, 1951).

4. Hermann Diels,*Die Fragmente der Vors"kratiker*(Dublín: Weidmann, 1969), vol.11,pág.168.

5. *Principios Philosophiae,*en*Obras*(París, 1824,) IV, 198; citado en EA Burtt, op. cit., p112.

Sin embargo, cabe señalar que los beneficios de la bifurcación son más aparentes que reales; porque, de hecho, el cartesiano se ve obligado en última instancia a admitir precisamente aquello que "somos totalmente incapaces de concebir". Se ve obligado a admitirlo, a saber, cuando se trata del proceso de percepción, en el que las cualidades percibidas por los sentidos son Aunque sean tan privados o "ilusorios", son aparentemente causados (sobre la base de sus propias suposiciones) por "partículas en movimiento": le guste o no, está obligado a explicar cómo "estas mismas cosas pueden producir algo más de una naturaleza completamente diferente". de ellos mismos; y al final debemos necesariamente conceder que "somos totalmente incapaces de concebir cómo tal cosa es posible". Por lo tanto, no se deriva ninguna ventaja filosófica real del postulado de la bifurcación, es decir, que en cualquier caso es necesario abandonar las pretensiones totalistas de la física: en una palabra, no todo, sin excepción, puede entenderse o explicarse en términos exclusivamente cuantitativos.

Volviendo a Demócrito, cabe señalar que Platón se opuso vigorosamente a su posición y posteriormente fue rechazada por las principales escuelas filosóficas hasta el advenimiento de los tiempos modernos; lo que significa que los principios gemelos del atomismo y la bifurcación pueden ciertamente clasificarse como "heterodoxos". Pero, como también se sabe, las viejas herejías no mueren; sólo aguardan el momento oportuno, y cuando regresan las condiciones favorables para su aceptación, invariablemente son eliminadas. redescubierto y reafirmado con entusiasmo. En el caso de Demócrito encontramos que su doctrina fue restaurada en el siglo XVII, después de un lapso de unos dos mil años; y es interesante observar que ambas mitades de la teoría regresaron aproximadamente al mismo tiempo. Galileo, que diferenciaba entre los llamados atributos primarios y secundarios y se inclinaba hacia el atomismo, fue quizás el primer portavoz del renacimiento. Y mientras que Descartes propuso la bifurcación pero pensó principalmente en términos de materia continua, encontramos que Newton ya se entregó libremente a especulaciones químicas de tipo atomístico. Lo único que ocurre es que en aquellos primeros días los físicos carecían de los medios para cuantificar sus especulaciones atomísticas y ponerlas a prueba; De hecho, no fue hasta finales del siglo XIX que los átomos comenzaron a entrar dentro del alcance experimental. Pero desde siempre la concepción atomista de la materia había desempeñado un papel heurístico decisivo; Como señala Heisenberg, "la influencia más fuerte sobre el

La física y la química de los últimos siglos ha sido ejercida sin duda por el atomismo de Demócrito. 6

Sin embargo, en el transcurso del siglo XX el panorama ha comenzado a cambiar. En primer lugar, por fin han aparecido en escena una serie de filósofos poderosos e influyentes (Husserl, Whitehead y Nicolai Hartmann, por ejemplo) para desafiar y refutar las premisas cartesianas; y mientras tanto también se han puesto de moda otros tipos de filosofías, como el pragmatismo, el neopositivismo y el existencialismo, que no descalifican sino que eluden el axioma catiónico de la bifurcación. Así, ya sea por refutación o por negligencia, en cualquier caso se puede decir que el cartesianismo ha sido abandonado por las principales escuelas filosóficas.

En el mundo científico, por el contrario, es el demócrata

La doctrina del atomismo ha sido atacada, mientras que la premisa bifurcacionista ha permanecido prácticamente incuestionable. E incluso cuando se trata del atomismo -que está claramente en desacuerdo con los últimos descubrimientos de la física de partículas- resulta que no pocos físicos destacados siguen siendo tácitamente demócratas en sus opiniones.*Weltanschauung;*Precisamente por eso Heisenberg se lamenta de que "hoy en día, en la física de las partículas elementales, la buena física está siendo arruinada inconscientemente por la mala filosofía".[7]Sin embargo, pocos se dan cuenta de que ambas mitades de esta "mala filosofía" todavía están entre nosotros y que debemos abandonarlas si queremos encontrarle sentido filosófico a la física actual.

Mientras tanto, es el bifurcacionismo el que plantea el mayor problema. En primer lugar, la bifurcación es mucho más fundamental y, en consecuencia, mucho más difícil de comprender; pero lo más importante es que resulta ser la premisa sobre la que se basa la concepción totalista de la física. Los físicos pueden prescindir del atomismo, pero en general se muestran reacios a renunciar a sus pretensiones totalistas; y por eso están comprometidos, les guste o no, con la hipótesis cartesiana.[8]

6. *Encuentros con Einstein*(Princeton, Nueva Jersey: Princeton Univ. Press, 1983), p81.

7. op. cit., p82.

8. En consecuencia, uno cree en la bifurcación por la misma razón que cree en la evolución darwiniana: porque, de hecho, mientras se insiste en que cada fenómeno de la naturaleza puede, en principio, entenderse únicamente mediante los métodos de la física, ambos dogmas resultan indispensables. Mis opiniones sobre esta cuestión se han detallado en*Cosmos y Trascendencia,*cap. 4;*El teilhardismo y la nueva religión* (Rockford, IL: Libros TAN,1988),cap. 1; y*Cosmos, Bios, Theos,*editado por Henry Margenau y Roy A. Varghese (Chicago: Open Court,1992).

❖ ❖ ❖

Si el acto de percepción nos pone en contacto con el mundo exterior -como sostengo- la pregunta sigue siendo, por supuesto, cómo se logra este prodigio. En el caso de la percepción visual (a la que también podemos limitar nuestra consideración), no existe duda de la imagen perceptiva de un objeto externo; y, sin embargo, lo que realmente percibimos no es la imagen como tal sino precisamente el objeto. "Vemos" la imagen, si se quiere, pero percibimos el objeto; porque en cierto sentido percibimos más de lo que vemos, más de lo que nos es dado o recibido pasivamente. Y, por tanto, la percepción no es sensación pura y simple, sino sensación que cataliza un acto inteligente.9

Sin embargo, cabe señalar que el acto perceptivo no es racional ni razonativo: no hay absolutamente ningún razonamiento involucrado en la percepción de un objeto.Siel acto perceptivo fuera razonativo, es más, se trataría de interpretar la imagen como representación de un objeto externo; y esto implicaría, en primer lugar, que el objeto es conjetural -un concepto a diferencia de una percepción- y en segundo lugar, que la imagen, por su parte, se considera como imagen, lo cual no es. La cuestión es la siguiente: en el acto perceptivo la imagen se ve, no como imagen, sino como parte o aspecto del objeto; en otras palabras, se ve como algo que pertenece al objeto, del mismo modo que el rostro de un hombre pertenece al hombre. La imagen se convierte así en algo más que una imagen, si se puede decir así: se percibe como una superficie, un rostro, un aspecto de una cosa que trasciende inconmensurablemente la imagen como tal.

Ahora bien, esta transición decisiva -de la imagen al aspecto- es algo que la razón o el razonamiento no pueden efectuar ni comprender, lo que bien puede explicar el hecho de que los filósofos hayan experimentado tantas dificultades para abordar el problema de la percepción. Por lo general hemos olvidado que hay

9. Así percibimos el objeto como tridimensional aunque la imagen sea plana. La objeción concebible de que la visión estereoscópica se debe al hecho de que hay dos imágenes no viene al caso por dos razones: en primer lugar, porque en realidad no vemos dos imágenes, sino sólo una; y en segundo lugar, porque incluso cuando miramos un objeto familiar con un solo ojo, todavía lo percibimos como tridimensional.

una inteligencia que es intuitiva, directa e instantánea en su funcionamiento, una inteligencia que no necesita dialéctica ni pensamiento discursivo, sino que vuela directa al blanco como una flecha; y mucho menos nos damos cuenta de que esta elevada y olvidada facultad -que los antiguos denominaban "intelecto"- está operativa y, de hecho, desempeña el papel esencial en el acto de la percepción sensorial. Para el pensamiento discursivo, imagen y objeto deben permanecer para siempre separados -se podría decir cortados en pedazos- porque la naturaleza misma de la facultad raciocinativa es analizar, separar. Así, en ausencia de intelecto (si estuviéramos dotados, en otras palabras, de nada más que una capacidad para la recepción pasiva de imágenes más una facultad de razón), la percepción auténtica sería imposible, es decir, que el mundo externo se convertiría para nosotros en una mera concepción o hipótesis especulativa. Como Descartes, nunca pudimos verlo, nunca tocarlo, nunca escuchar su sonido.

Es por la fuerza del intelecto que el objeto percibido se une al perceptor en el acto de percepción, suponiendo, por supuesto, que sea una percepción auténtica o válida; porque, como he señalado antes, el acto perceptivo puede ciertamente fracasar, como ocurre, por ejemplo, en el caso de una ilusión óptica o una percepción alucinatoria. Como dirían los antiguos, el acto perceptivo puede fracasar porque no es puramente intelectivo, sino que sólo "participa" del intelecto; pero éstas son cuestiones que no nos conciernen especialmente en este momento. Por el momento basta tomar nota del hecho de que existe un modo de inteligencia no raciocinativo mediante el cual se efectúa la transición de la imagen perceptiva al objeto percibido, y que la razón o el pensamiento discursivo simplemente no están a la altura de la tarea. Pero, por supuesto, esto no implica en lo más mínimo que haya nada irracional en el acto perceptivo, o mejor dicho, en el reconocimiento filosófico de que realmente miramos al mundo exterior.

Tal vez no esté fuera de lugar observar, en relación con lo que acabamos de decir sobre el tema de la inteligencia humana, que la reducción del intelecto a la razón -que es la falacia del racionalismo- bien podría constituir el delito principal, no sólo el delito. de René Descartes y sus seguidores más inmediatos, pero quizás de la filosofía moderna en general. Incluso las escuelas antirracionalistas, como el pragmatismo y el existencialismo, parecen presuponer la

la misma reducción, la misma negación racionalista del intelecto. Pero sea como sea, una vez que se ha hecho esta suposición filosóficamente fatal nos encontramos atrapados en una dicotomía que de ninguna manera puede salvarse. El mundo externo de la materia y el mundo interno de la mente, por así decirlo, aparentemente han perdido su conexión; y esto significa, por supuesto, que el universo y nuestra posición en él se han vuelto de facto ininteligibles. Es propio de la razón analizar, incluso separar, al parecer, lo que Dios mismo ha unido; No es de extrañar, entonces, que una Weltanschauung basada únicamente en la razón resulte fracturada sin posibilidad de reparación. El intelecto, por otra parte, es el gran conector; une lo que parece dispar, no externamente, por supuesto, sino sacando a la luz un vínculo profundo y preexistente. Para decirlo en términos un tanto míticos, lo que "todos los caballos y todos los hombres del rey no han logrado reconstruir: el" intelecto real "lo restaura en un instante.

Ahora bien, el ejemplo clásico de esta maravillosa hazaña es sin duda el acto ordinario y humilde de percepción sensorial: el acto, por ejemplo, de contemplar una manzana. El abismo entre sujeto y objeto -el abismo epistemológico que había desconcertado a Descartes y a Kant- se salva, digo, en un abrir y cerrar de ojos; cada niño puede y de hecho logra lograr el milagro, lo que, sin embargo, no disminuye su magnitud. Porque es y sigue siendo una maravilla ver que la manzana está fuera de nosotros y, sin embargo, la percibimos. O en palabras de Aristóteles: que en el acto de conocer 'el intelecto y su objeto se unen'.

Que nadie, además, niegue el milagro: que 'a través de la imagen' ("como a través de un cristal") percibimos el objeto mismo, la cosa externa. No nos equivoquemos: el término del acto intencional no es simplemente otra imagen, o una representación subjetiva, sino el objeto mismo; lo que percibimos es precisamente la manzana, y no sólo una imagen, un concepto o una idea de la manzana. Pero, por supuesto, nuestra percepción o conocimiento es incompleto: 'Por ahora vemos a través de un espejo, oscuramente; ...ahora conozco en parte' (1Cor.13:12).

No es poca cosa lo que así sucede en estos familiares actos cotidianos; porque la inteligencia que allí se manifiesta es misteriosa: un poder tan asombroso que su misma existencia dentro de nosotros contradice nuestras nociones habituales sobre qué es el hombre y cómo llegó a ser.

❖ ❖ ❖

Consideremos cómo se concibe comúnmente el acto perceptivo. Un estímulo externo incide sobre un órgano sensorial (la retina, digamos) y provoca que una corriente de información codificada sea transmitida a lo largo de caminos neuronales hasta los centros cerebrales apropiados. ¿Pero qué pasa entonces? La mayoría de los científicos, tal vez, todavía abrazan la vieja posición materialista o monisfista de que el cerebro lo es todo, es decir, que la vida psíquica se considera un epifenómeno de la función cerebral. Por otra parte, un número creciente de neurofisiólogos y expertos en cerebro (incluidas algunas autoridades destacadas) han llegado a creer que la posición monista es insostenible y que los fenómenos de la percepción y el pensamiento sólo pueden explicarse partiendo del supuesto de que, además, Además del cerebro, existe también un "segundo elemento o mente". Como lo expresó un destacado neurocirujano:

> Porque parece seguro que siempre será completamente imposible explicar la mente sobre la base de la acción neuronal dentro del cerebro, y porque me parece que la mente se desarrolla y madura independientemente a lo largo de la vida de un individuo como si fuera un elemento continuo, y debido a que una computadora (que es el cerebro) debe ser operada por una agencia capaz de comprensión independiente, me veo obligado a elegir la proposición de que nuestro ser debe explicarse sobre la base de dos elementos fundamentales. 10

Uno se siente fuertemente tentado a considerar el segundo elemento o mente como una especie de fantasma dentro de la máquina, presumiblemente porque no sabemos de qué otra manera concebirlo. Y esto pone en juego la inquietante noción de un agente consciente capaz de descifrar los estados de mil millones de neuronas e integrar esta información en una imagen percibida, ¡todo en una fracción de segundo! Pero en realidad no es la velocidad de la operación o su complejidad lo que nos desconcierta, sino su naturaleza: por

10. Wilder Penfield,*El misterio de la mente*(Princeton, Nueva Jersey: Princeton University Press, 1975); citado por EF Schumacher en*Una guía para los perplejos*(Nueva York: Harper & Row, 1977), p76.

ni un mecanismo ni un observador humano podrían realizar remotamente tal tarea.

Pero supongamos que de alguna manera la mente es capaz de "leer el ordenador: transformar la información neuronal en una imagen perceptiva: ¿luego qué? El escenario resultante del acto perceptivo equivale evidentemente a un observador que observa monitores conectados a una fuente externa. Se podría pensar que a estas alturas todo está bien y que, habiendo llegado hasta aquí, por fin se ha llegado a un modelo viable. Pero no es así: lo que nuestro observador percibe es evidentemente una imagen en un monitor y no un objeto externo en absoluto. Ahora bien, desde un punto de vista teórico de la información, esto no plantea ningún problema y, de hecho, no hay ninguna diferencia significativa entre suponer que el observador percibe o no el mundo exterior; por ejemplo, si se trata de leer un instrumento externo, evidentemente da igual si mira el monitor o directamente a la escala externa. Pero entonces lo que intentamos comprender no es sólo la transmisión de información (en el sentido del ingeniero eléctrico), sino el fenómeno de la percepción, que es algo completamente distinto, aunque obviamente implica una transmisión del tipo estipulado. . Debemos recordar que la percepción auténtica termina, como hemos visto, no en una mera imagen, sino en un rostro o aspecto de la cosa externa misma. Pero aquí el modelo observador/monitor falla: no se puede eludir el hecho de que lo que nuestro observador percibe es el monitor, y sólo el monitor. En resumen, el modelo dado tal como está resulta ser incurablemente bifurcacionista. Puede que haga justicia al cerebro, pero no comprende el segundo elemento: la mente y sus poderes.

Existe una creencia antigua y olvidada hace mucho tiempo según la cual el ojo que percibe envía un rayo hacia el objeto; y que hoy en día esta noción puede parecerles a muchos simplemente otra "superstición primitiva"; ¿No es concebible que la propagación aferente del objeto al perceptor necesite ser complementada por un proceso eferente, una propagación que vaya en sentido contrario? Y si la ciencia no ha encontrado rastro de tal 'rayo eferente; ¿No podría deberse esto a que sus métodos no son adecuados para detectar dicho proceso? Así, si la propagación aferente es 'material; ¿No podría ser la eferente, digamos, del tipo 'mentar'? Me parece que cuando

En lo que respecta al problema de la percepción, difícilmente estamos en condiciones de rechazar de plano doctrinas "extrañas". Todo lo que sabemos, en este momento, es que las piezas que actualmente se encuentran dentro del alcance científico no encajan, lo que parece implicar que la pieza que falta del rompecabezas debe ser en realidad "extraña". Llámalo 'mente', 'espíritu' o como quieras; como ha observado Sir Charles Sherrington: «En nuestro mundo espacial todo es más fantasmal que un fantasma. Invisible, intangible, es una cosa que ni siquiera está en el contorno, no es una cosa.' II Uno no puede dejar de estar de acuerdo con el eminente neurofisiólogo en que la ciencia "es incapaz de abordar o describir" esa presencia elusiva y enigmática mediante la cual aparentemente se consuma el acto perceptual.

❖ ❖ ❖

Por "mundo corpóreo" entenderemos en adelante la suma total de cosas y acontecimientos que un ser humano normal puede percibir directamente mediante el ejercicio de su vista, su oído y sus sentidos del tacto, el gusto y el olfato; es decir, en una palabra, que el dominio corpóreo no es ni más ni menos que el mundo real en el que normalmente nos encontramos. Pero, por supuesto, esta afirmación, por simple y obvia que sea, será inmediatamente cuestionada por los bifurcacionistas, basándose en que lo que realmente percibimos no es un mundo en absoluto -ni una realidad externa- sino un fantasma privado, del cual sólo ciertas características cuantitativas tienen un significado objetivo. En otras palabras, a lo que en un nivel prefilosófico consideramos el mundo se le niega así un estatus externo u objetivo, para dar paso, presumiblemente, al mundo tal como lo concibe el físico. El reconocimiento, por tanto, de lo que podría denominarse el principio de no bifurcación equivale a un redescubrimiento -o una reafirmación, si se quiere- del mundo corpóreo, un mundo que según Descartes y sus discípulos no existe.

En realidad, por supuesto, es evidente que nadie ha prestado la más mínima atención a las autoridades cartesianas; es decir que en nuestra vida diaria no cuestionamos, y mucho menos negamos, la autenticidad de la

11. *El hombre en su naturaleza*(Cambridge: Cambridge University Press,1951), pág.256.

mundo percibido por los sentidos. Cada uno continúa con sus asuntos, firme en la convicción de que 'las montañas son montañas y las nubes son nubes', como señala el maestro Zen; y, sin embargo, la mayoría de nosotros tenemos nuestros momentos cartesianos. Intente, por ejemplo, persuadir a un profesor universitario, o incluso a un mejor estudiante de posgrado, de la no bifurcación, y pronto sacará a relucir lo cartesiano que hay en él; tal es la fuerza de la educación. Pero ésta también es la naturaleza de la cuestión; porque, de hecho, lo que es obvio en el estado irreflexivo no es cierto ipso facto, como si la sola irreflexión pudiera otorgar infalibilidad. Las dudas cartesianas, por lo tanto, están lejos de ser ilegítimas, y lo que nos ofende no son, de hecho, las dudas, sino la filosofía.

Sin embargo, esta filosofía se nos ha inculcado en gran medida a través del proceso educativo, hasta el punto de que puede resultar chocante que nos digan abiertamente que el mundo percibido es realmente real y que, después de todo, no nos equivocamos durante la mayor parte del tiempo. nuestra vida de vigilia a lo largo de las horas y días durante los cuales permanecemos ignorantes de la enseñanza bifurcacionista. Sin duda, esta notoria resistencia e incredulidad con la que la mayoría de nosotros reaccionamos ante el principio de no bifurcación cuando se afirma puede parecer realmente extraña, dado el hecho de que en todos los demás momentos, tanto antes como después del interludio filosófico, seguir firmemente comprometidos con el principio en cuestión. Sólo cuando se afirma explícitamente la no bifurcación es que generalmente nos volvemos contra ella y negamos alegremente lo que de otro modo creemos firmemente. En resumen, la filosofía cartesiana nos ha sumido en un estado colectivo de esquizofrenia, una condición indudablemente insalubre, que bien puede tener algo que ver con no pocos de nuestros males contemporáneos.

Pero sea como fuere, no es tarea fácil cortar el nudo newtoniano y deshacerse del peso de una filosofía antinómica; porque aunque la bifurcación como tal puede no tener ningún atractivo particular, confiere el considerable beneficio de aparentemente reforzar las afirmaciones de una física que sería totalista en su alcance. Si a esto le sumamos la creencia generalizada de que la Weltanschauung prevaleciente ha sido dictada por los hallazgos positivos de una ciencia exacta e infalible, uno comienza a discernir la magnitud del problema. No es de extrañar entonces que los fundamentos filosóficos de la física estén en desorden. Ha transcurrido más de medio siglo desde que Whitehead

primero lamentó este estado de cosas y nos sermoneó sobre lo que denominó "una completa confusión en el pensamiento científico, en la cosmología filosófica y en la epistemología"; 12 pero la confusión persiste y, en todo caso, sólo ha sido exacerbada por una serie de escritos pseudofilosóficos que hacen poco más que verter vino nuevo en odres viejos. Por otra parte, en lo que respecta a los físicos, parecería que la mayoría están poco inclinados a la investigación de fundamentos filosóficos; e incluso entonces parece que su destreza científica no siempre se traslada al dominio filosófico. Como bien ha dicho Heisenberg:

> Si se sigue la gran dificultad que incluso científicos eminentes como Einstein tienen para comprender y aceptar la interpretación de Cophen Hagen de la teoría cuántica, se pueden rastrear las raíces de esta dificultad hasta la partición cartesiana. Esta división ha penetrado profundamente en la mente humana durante los tres siglos que siguieron a Descartes, y hará falta mucho tiempo para que sea reemplazada por una actitud realmente diferente hacia el problema de la realidad.[13]

12. *Naturaleza y vida*(Nueva York: Greenwood, 1968), p6.
13. *Física y Filosofía*(Nueva York: Harper&Fila, 1958), p8i.

II

¿QUÉ ES EL UNIVERSO FÍSICO?

A UNO LE GUSTARÍA DECIR que el universo físico es simplemente el mundo tal como lo concibe el físico; pero claro, no está nada claro cómo concibe el físico el mundo. Hay que recordar, en primer lugar, que la física ha experimentado un desarrollo estupendo y continúa progresando a pasos agigantados. Y lo que es más, últimamente ha habido poco acuerdo entre los físicos sobre qué es exactamente lo que la física está sacando a la luz. ¿Cómo, entonces, se puede hablar del "mundo tal como lo concibe el físico"?

Uno puede hacerlo, hasta cierto punto, en virtud del hecho de que la física tiene una metodología propia, un modo distintivo de investigación. Es posible que determinadas teorías físicas sean reemplazadas y que las opiniones filosóficas aparezcan y desaparezcan; pero los medios cognitivos básicos mediante los cuales se define la física como tal permanecen sin cambios. Y estos medios cognitivos determinan sus objetos de manera general: éste es el punto crucial. Digamos, entonces, que el universo físico es el reino de las cosas cognoscibles en principio por estos medios particulares, y consideremos adónde conduce esto.

Hemos visto en el capítulo anterior que el mundo corpóreo existe "para nosotros": como el dominio de las cosas que deben conocerse mediante la percepción sensorial; y ahora descubrimos que el universo físico existe "para nosotros" en gran medida en el mismo sentido. Lo único que ocurre es que los respectivos medios de conocimiento son marcadamente diferentes. En el primer caso conocemos a través de la percepción directa, y en el segundo a través de un modus operandi complejo basado en la medición, que es algo completamente distinto.

Examinemos brevemente el acto de medir. Lo primero que hay que tener en cuenta es que no se mide directamente con la vista ni con ningún otro

sentido, sino a través de un artefacto, un instrumento apropiado. De hecho, lo que cuenta es la interacción entre objeto e instrumento: es esto lo que determina el estado final del instrumento y, por tanto, el resultado de la medición. Y ese resultado, además, será una cantidad; un número, si quieres. Ahora bien, el físico experimental hace uso de sus sentidos en cada paso; y es a través de la percepción sensorial, en particular, como determina el estado final del instrumento. Pero esto no significa que perciba la cantidad en cuestión. Seamos sinceros al respecto. Estrictamente hablando, no se percibe algo como el peso o el diámetro de un objeto familiar, como tampoco se puede percibir el momento magnético, por ejemplo, del electrón. Lo que uno percibe son objetos corpóreos de diversos tipos, incluidos instrumentos científicos. Y, por supuesto, se puede leer la posición de un puntero en una escala. Pero no se perciben cantidades mensurables. Y esa es la razón por la que uno necesita un instrumento. El instrumento es necesario precisamente porque la cantidad en cuestión no es perceptible. Por tanto, es función del instrumento convertir este último, por así decirlo, en el estado perceptible de un objeto corpóreo, de modo que, mediante la percepción sensorial, se pueda llegar al conocimiento de algo que en sí mismo no es perceptible.

Ahora el*modus operandi*de la física se basa en la medición,
Como he dicho; Así, es a través de actos de medición como el universo físico aparece a la vista. El físico mira la realidad, no con las facultades humanas ordinarias de percepción, sino a través de instrumentos artificiales; y lo que ve a través de estos "ojos" hechos por el hombre es un extraño mundo nuevo compuesto de cantidades y estructura matemática. En una palabra, contempla el universo físico, diferenciado del mundo corpóreo familiar.

¿Qué debemos hacer entonces con esta curiosa dualidad? ¿Podemos decir, por ejemplo, que uno de los dos dominios es real y el otro subjetivo, o de algún modo ficticio? Parece que en realidad no hay razones convincentes para apoyar ninguno de los dos reduccionismos. Lo que ves depende de las "lentes" a través de las cuales miras: esa es la esencia del asunto. ,

Surge la pregunta de cómo los dos mundos aparentes -o "secciones transversales de la realidad"- pueden coexistir o encajar, como de hecho deben hacerlo.

Y basta decir, por el momento, que se trata de una cuestión que no puede investigarse ni comprenderse a través de los medios cognitivos asociados a ninguno de los dos ámbitos. Ni mediante la percepción sensorial ni mediante los métodos de la física se puede resolver la cuestión, por la sencilla razón de que cada uno de estos medios cognitivos está restringido a su propia esfera. Idealmente, lo que se necesita es una ontología integral, y también podemos dejar sin resolver, por el momento, la cuestión de si tal empresa es factible. Lo que importa, mientras tanto, es comprender que cada uno de nuestros dos dominios (el físico no menos que el corpóreo) tiene un alcance limitado. En cada caso, hay cosas que pueden conocerse mediante los medios cognitivos dados y hay cosas que no. Como un círculo, el concepto de cualquiera de los dominios incluye y excluye al mismo tiempo. Y no debería haber duda desde el principio de que lo que cada uno excluye debe ser, de hecho, inconmensurablemente más vasto que la multitud, por asombrosa que sea, de su propio contenido total.

❖ ❖ ❖

El universo físico "aparece a la vista" a través de la medición; pero hay que añadir inmediatamente que la medición por sí sola no es suficiente. También hay necesariamente un lado teórico en el proceso cognitivo, es decir, nada perteneciente al dominio físico puede conocerse sin una teoría, un "modelo" apropiado. Además, los aspectos experimentales y teóricos de la disciplina van de la mano; existe una simbiosis maravillosa entre ambos, demasiado delicada, tal vez, para describirla adecuadamente en términos de libros de texto. Baste decir que el experimento y la teoría se combinan para formar una única empresa cognitiva, una única "forma de conocer".

Los objetos físicos, entonces, deben ser conocidos por medio de un método adecuado.

modelo, una representación teórica de algún tipo. Sin duda, objeto y representación no coinciden. Conocemos el objeto a través de la representación, del mismo modo que conocemos un objeto corporal a través de una imagen mental. La representación teórica sirve así como símbolo, como signo, pero indispensable. De hecho, uno no puede conocer ni siquiera concebir un objeto físico excepto a través de un modelo, una construcción teórica de un tipo u otro. Ciertamente nosotros

puede cambiar, y a menudo cambia, la representación de una entidad física determinada; pero no podemos abandonar un modelo sin la ayuda de otro, so pena de perder el objeto por completo. 1

Notemos (en aras de la máxima claridad) que si el objeto fuera realmente reducible a la representación, obviamente no estaría sujeto a medición; Al fin y al cabo, un simple modelo no afecta a nuestros instrumentos. Los objetos físicos, por otra parte, evidentemente afectan a los instrumentos de medición apropiados (por definición, si se quiere); y esto significa que tienen una cierta existencia propia. El paso de la representación al objeto, por tanto, constituye un acto intencional no menos enigmático, ciertamente, que el humilde acto de la percepción sensorial, considerado detalladamente en el capítulo anterior. No es de extrañar, entonces, que este paso crucial perteneciente al modus operandi de la física no haya sido bien comprendido. Que el acto intencional del físico, lejos de ser accesible a la humanidad en general, presupone evidentemente un aprendizaje exigente -por no mencionar ciertas calificaciones intelectuales específicas que tal vez no todos puedan poseer en plena medida-, todo esto no conduce a una fácil comprensión. de la cuestión epistemológica. Pero lo más importante es que las premisas filosóficas a las que somos propensos hoy en día no permiten en realidad ningún conocimiento de los objetos físicos, como tampoco permiten la percepción de entidades corpóreas. Mientras tanto, todo físico respetable ha aprendido a consumar el acto intencional del que hablamos, y sin duda consuma ese acto crucial repetidamente en el ejercicio de sus labores profesionales, aun cuando, como filósofo, bien pueda estar comprometido con una escuela de pensamiento que niega la posibilidad misma de este acto cognitivo. El escenario recuerda por completo al bifurcacionista que niega -una vez más, en sus momentos filosóficos- la posibilidad de la percepción sensorial: el acto cotidiano mediante el cual miramos el mundo y percibimos -no meros datos sensoriales o representaciones mentales- sino una miríada de cosas existentes. Ya hemos comentado suficientemente (en el capítulo 1) este extraño fenómeno, que ahora conocemos.

1. Utilizaré el término "sistema físico" para denotar un objeto físico tal como se concibe en términos de una representación teórica dada. Diferentes representaciones de un mismo objeto físico dan lugar así a diferentes sistemas físicos.

encontrarnos una vez más en el contexto del conocimiento científico. La cuestión, en cualquier caso, es que una cosa es saber y otra muy distinta saber cómo lo sabemos.

El modelo a través del cual se conoce un objeto físico debe, por supuesto, curso de cuadratura con los hechos mensurables; es decir, debe ser posible derivar de ello consecuencias empíricamente verificables. La representación tiene así un cierto significado operativo o contenido empírico, sin el cual no tendría conexión con la empresa científica. Necesitamos, sin embargo, entender claramente que tiene, además, un contenido intencional, es decir, que sirve como signo o símbolo, cuyo referente es el objeto físico mismo. Además, los dos tipos de contenido o significado -el intencional y el operativo- están estrechamente vinculados: pues, de hecho, un objeto físico puede ser modelado o representado precisamente en virtud de la manera en que se presenta a la observación empírica. Pero aunque conozcamos el objeto por la forma en que afecta a nuestros instrumentos, lo concebimos como la causa externa o trascendente de estos efectos observables, y no simplemente como su suma total. Un campo electromagnético, por ejemplo, es sin duda más que un conjunto de lecturas de instrumentos, y un protón más que un conjunto de pistas en una cámara de niebla. Al contrario de lo que los positivistas quieren hacernos creer, el objeto físico no puede reducirse a sus efectos observables. El objeto, por tanto, no es la manifestación, sino la entidad que se manifiesta. Por lo tanto, las lecturas de nuestros instrumentos y las pistas de condensación apuntan más allá de sí mismas; y esa es precisamente la razón, por supuesto, por la que estas lecturas y avistamientos preocupan al físico. Su principal interés no son los juegos positivistas, sino una realidad oculta que se manifiesta, al menos parcialmente, en todo tipo de efectos mensurables. El universo físico, no menos que el corpóreo, es, pues, en cierto modo trascendente, aunque (como he dicho repetidamente) existe "para nosotros".

❖ ❖ ❖

Estrictamente hablando, nadie ha percibido nunca un objeto físico y nadie lo hará jamás. Las entidades que responden al modus operandi de la física son por naturaleza invisibles, intangibles, inaudibles, desprovistas de

sabor y olor. Estos objetos imperceptibles se conciben mediante modelos matemáticos y se observan mediante instrumentos adecuados. Sin embargo, hay entidades físicas que se presentan, por así decirlo, en forma de objetos corpóreos. O dicho al revés: cada objeto corpóreo X puede ser sometido a todo tipo de mediciones y determina así un objeto físico asociado SX. Si X es una bola de billar, por ejemplo, podemos medir su masa, su radio y otros parámetros físicos, y podemos representar el objeto físico asociado SX de varias maneras: por ejemplo, como una esfera rígida de densidad constante. El punto crucial, en cualquier caso, es que X y SX no son lo mismo. De hecho, ambos son tan diferentes como el día y la noche: pues sucede que Xi es perceptible, mientras que SX no lo es.

Ahora bien, la primera de estas afirmaciones es obvia e incontrovertible. Todo el mundo sabe que una bola de billar es perceptible. O mejor dicho, todo el mundo lo sabe muy bien, siempre y cuando no sea un bifurcacionista. Pero ¿qué pasa con SX? ¿Por qué no es perceptible? Hay quienes, presumiblemente, argumentarían que una esfera rígida, por ejemplo, puede muy bien percibirse. Pero si bien, estrictamente hablando, este resulta no ser el caso,2 el argumento en realidad no viene al caso. Porque la cuestión que tenemos ante nosotros no es si cosas como las esferas rígidas pueden percibirse, sino si SX puede percibirse, y esa es otra cuestión. Porque mientras que el objeto físico asociado SX del presente ejemplo puede representarse (dentro de ciertos límites de precisión) como una esfera rígida, también puede representarse de muchas otras maneras. Por ejemplo, como una esfera elástica, un modelo que de hecho puede dar lugar a una descripción más precisa. Sin embargo, lo más importante es que hoy sabemos que los objetos físicos están compuestos de átomos -o más generalmente, de partículas subatómicas- y que todas las representaciones continuas o "clásicas" no transmiten más que una

2. A riesgo de azotar a un caballo muerto, el punto podría argumentarse de la siguiente manera: una esfera rígida de densidad constante se caracteriza enteramente por dos constantes numéricas: su radio R y su densidad 3. Sin embargo, ni R ni 3 pueden percibirse. (Estas cantidades, por supuesto, se pueden medir, pero como se señaló antes, medir no es lo mismo que percibir). Pero dado que las cantidadesenLos términos por los que se define la esfera rígida son imperceptibles, al igual que la esfera rígida. O también: nadie ha percibido nunca (en el sentido visual) un objeto desprovisto de todo color. Pero la esfera rígida no tiene color (se caracteriza por Rand 3, como ya he dicho). Por eso es imperceptible.

visión aproximada y parcial de la entidad en cuestión. Pero ahora, si suponemos que SX es en realidad un conjunto de átomos o de partículas subatómicas, ¿es todavía concebible que SX pueda percibirse? Obviamente no; porque está claro que lo que percibimos no es una colección de átomos, partículas subatómicas u ondas de Schrödinger, sino precisamente una bola de billar. Por supuesto, se podría afirmar que el conjunto de átomos o partículas da lugar de alguna manera al objeto percibido o perceptible, pero ésta es una cuestión completamente diferente. Lo que nos preocupa actualmente es la identidad de este objeto percibido o perceptible, y no su causa conjeturada. Y esta identidad está fuera de toda duda: lo que percibimos es la bola de billar roja o verde, por decirlo una vez más. Nadie, repito, ha percibido jamás un conjunto de partículas subatómicas o una colección de átomos.

Se llega así a un reconocimiento básico que ha estado oscurecido durante mucho tiempo debido al sesgo bifurcacionista: se encuentra ahora que cada objeto corpóreo X determina un objeto físico asociado SX. De ahora en adelante nos referiremos a X como la presentación de SX. Por supuesto, no todos los objetos físicos tienen una presentación; es decir que podemos distinguir entre dos tipos o clases de entidades físicas: las que sí admiten presentación y las que no. Subcorpóreo y transcorpóreo, digamos. Pero me apresuro a señalar que esta dicotomía tiene que ver, no con los objetos físicos como tales, sino con su relación con el dominio corpóreo. En otras palabras, el físico que investiga la estructura o las propiedades físicas de los objetos en cuestión no encontrará rastros de esta dicotomía. A medida que los átomos se congregan en moléculas y las moléculas se unen formando agregados macroscópicos, no hay ningún punto, ninguna línea mágica de demarcación que señale el comienzo del reino subcorpóreo. En efecto, sólo con referencia al plano corpóreo se define esta noción. Y, por lo tanto, si tuviéramos ojos sólo para el plano físico -y sólo pudiéramos ver átomos y cosas similares- no habría manera de distinguir los agregados subcorpóreos de los transcorpóreos.

Sin embargo, la distinción es vital para la economía de la física. Pues de lo dicho antes se desprende claramente que los instrumentos de medida deben ser corpóreos. Después de todo, el proceso de medición debe terminar en el estado perceptible de una cosa corpórea.

objeto. Pero esto significa, a la luz de las consideraciones precedentes, que el instrumento físico es forzosamente subcorpóreo; para ser precisos, debe ser el SI de un instrumento corpóreo I.

❖ ❖ ❖

Cabe señalar que, además de la medición, la física necesita procedimientos empíricos que terminen, no en el valor numérico de un parámetro físico, sino en una representación pictórica de algún tipo. Los ejemplos son innumerables y van desde diversas formas de telescopía hasta microscopios electrónicos y cámaras de burbujas. Ahora bien, en todos estos casos un objeto o proceso físico se convierte de alguna manera en una muestra pictórica (una fotografía, por ejemplo) que incorpora información sobre el objeto o proceso en cuestión. Y esta información, además, es una vez más cuantitativa, pero no específicamente numérica, por así decirlo. Por consiguiente, nos vemos obligados a distinguir entre la medición en sentido estricto -que termina en un valor numérico, o en una "lectura de puntero"- y un segundo modo de observación científica, al que (a falta de un término mejor) nos referiremos. como 'pantalla'. Por supuesto, los dos modos pueden combinarse, como sucede, por ejemplo, cuando se utiliza una fotografía (el extremo de una pantalla) para efectuar mediciones. Pero la simbiosis también puede ocurrir en la dirección opuesta, como en el caso de las presentaciones gráficas que incorporan los resultados de un conjunto de mediciones. Sin embargo, a pesar de la estrecha interconexión de los dos modos, sostengo que ninguno puede ser asimilado o reducido al otro sin violencia, es decir, que la física necesita ambos.[3]

En vista del hecho de que los objetos físicos no son perceptibles, la Ahora surge la pregunta de en qué sentido se puede hablar de una "representación pictórica" de algo que en principio no se puede percibir.

3. Se podría mencionar que visualización y medición corresponden precisamente a los dos llamados modos de cantidad: extensión y número, que hasta los tiempos modernos se concebían como irreductibles. Fue Descartes quien desdibujó la distinción mediante la invención de lo que se ha dado en llamar geometría analítica. Pero sea como sea, la distinción entre extensión y número persiste y, a pesar de que hoy en día casi todo puede "digitalizarse", la necesidad de representaciones pictóricas sigue con nosotros.

Es grande la tentación de imaginar que la exposición transmite una semejanza, de la misma manera que una fotografía ordinaria transmite una semejanza del objeto corpóreo que representa. Pero ¿cómo se puede hablar de semejanza si nunca se ha visto el original y si, de hecho, el original no puede verse en absoluto? Para saber si un retrato, por ejemplo, tiene un parecido o no, es necesario, después de todo, mirar al sujeto; pero si el sujeto, en principio, no puede ser mirado, entonces no tiene "mirada" en absoluto y ya no tiene sentido hablar de semejanza.

Tal es el caso cuando se trata de exhibición. La semejanza en el sentido habitual está fuera de discusión. Pero si la semejanza ordinaria falla, debe haber todavía alguna similitud, sin la cual no tendría sentido hablar de exhibición. Existe, en consecuencia, una noción de semejanza aplicable a la exhibición, y no debería sorprender que la semejanza en cuestión sea una semejanza de forma matemática, de estructura abstracta. El hecho de que las formas matemáticas puedan en ocasiones representarse en términos visuales es, por supuesto, familiar para todos los estudiantes de matemáticas; cualquiera que haya hecho un curso de cálculo o de geometría analítica, por ejemplo, recordará la gráfica parabólica de la función dada por la fórmula y = x2. Y también comprenderá muy bien que la función como tal es imperceptible, y que la gráfica no es simplemente una semejanza en el sentido habitual. Al mismo tiempo, sin embargo, se comprende que la gráfica, en cierto sentido, representa la función; después de todo, en el gráfico se puede ver que se supone un mínimo en x = o, que la derivada desaparece en ese punto, que el valor absoluto de la derivada aumenta con el valor absoluto de x, y así sucesivamente. Además, en principio se puede recuperar la función a partir de su gráfica; es decir, si ignoramos el hecho de que las ordenadas y las abscisas no pueden determinarse en la práctica con precisión arbitraria, se puede obtener de la gráfica el valor f(x) off para cada x.

En el caso de una exhibición científica, por supuesto, el objeto no es un matemática sino una entidad física de algún tipo; pero, sin embargo, la entidad física posee una forma matemática, y es precisamente esta forma la que se está representando. El caso de la visualización es, pues, realmente análogo al del gráfico. Porque no hace falta decir que si la entidad física tuviera además propiedades de tipo no matemático, éstas no aparecerían en la exhibición. En otras palabras, ¿qué

la fotografía, digamos, puede tener en común con la estrella de radio, o con un conjunto de partículas que interactúan -o, de hecho, con nuestra antigua esfera rígida- puede ser ni más ni menos que una forma matemática.

Se pueden dar numerosos ejemplos para ilustrar este punto básico. Consideremos, por ejemplo, una fotografía de rayos X de un objeto sólido ordinario.Sicoordinamos la región de forma cartesiana y suponemos que los rayos X viajan paralelos al eje z, y que la placa fotográfica se coloca paralela al plano xy, entonces la fotografía en sí se puede coordinar mediante x e y, y la densidad óptica f(x,y) de la emulsión (después de la exposición y el revelado) definirá una determinada función f. Ahora bien, es precisamente esta función f la que la fotografía comparte, por así decirlo, con el cuerpo en cuestión; porque de hecho, si

conocíamos la 'densidad óptica' apropiada$B$(x,y,z) del objeto,

la integración con respecto a z daría una 'densidad óptica efectiva'B^*(x,y), y sabiendoB^*se podría calcular f. La utilidad de los rayos X, por otra parte, deriva del hecho de que este cálculo se puede invertir: sabiendo f se puede obtenerB^*.Se podría decir que el propósito de la pantalla de rayos X es exhibir la funciónB^*.ÉlesB^*que discernimos cuando examinamos una transparencia de rayos X; uno ve dondeB^*es pequeño o grande por la comparativa negrura o blancura del

región, y puede juzgar la pendiente de su aumento o disminución en varias direcciones.[4]De hecho, se puede considerar la transparencia como un "gráfico" de una función de dos variables, en el que los valores de la función se representan mediante una "densidad de puntos".

Por supuesto, existen muchos otros tipos de visualización; y cabe señalar, en particular, que no hay ninguna razón por la que las coordenadas xey de una visualización deban representar invariablemente dimensiones espaciales. El conocido ejemplo del osciloscopio es instructivo a este respecto. En su modo de operación más simple hay solo una entrada V(t), donde V es un voltaje y t representa el tiempo. Luego, el monitor mostrará una gráfica de la función V en la que la ordenada representa el voltaje.

4. Para fines médicos, por supuesto, uno está interesado en determinar, no sólo O*(x,y), sino O (x,y,z); después de todo, es 0 lo que se necesita para localizar un tumor o un objeto extraño diminuto. Añadamos que éste es el tema de una disciplina matemática conocida como tomografía, que subyace a la tecnología de las "escanografías".

(y, por lo tanto, también, cualquiera que sea el voltaje de entrada que pueda representar) y la abscisa representa el tiempo. Así, uno puede "ver" un pulso eléctrico, una onda sonora, una fluctuación de temperatura o cualquier cosa que haya sido representada por una entrada V(t). O nuevamente, se puede usar el osciloscopio con dos entradas -V(t) y W(t), digamos- y dejar que el monitor muestre la relación entre V y W dada por una curva en el plano VW. Sin embargo, en todos los casos de exhibición, lo que se exhibe es una función o una relación más general; el sistema físico como tal, por otra parte, permanece invisible.

❖ ❖ ❖

Cabe señalar que toda forma de observación científica -ya sea un caso de medición o de visualización- depende de la correspondencia entre un objeto corpóreo X y el objeto físico asociado SX. En otras palabras, depende de un acto de presentación (siendo X la presentación de SX). En general, la transición del dominio físico al corpóreo, que consuma el proceso de observación, debe efectuarse precisamente mediante un paso de SX a X; porque, de hecho, no conocemos ningún otro vínculo o nexo entre los niveles físico y corpóreo de existencia. Además, es evidente que el físico experimental se sirve de esta conexión constantemente y de forma natural. Lo hace, por ejemplo, cuando trata un objeto corpóreo como un sistema físico, o cuando emplea entidades corpóreas para "preparar" un sistema físico de tipo transcorpóreo; y lo hace, sin duda, cuando mide o muestra un objeto físico.

Sin embargo, sucede que este vínculo crucial no se reconoce en ninguna parte.

Así, en primer lugar, no aparece en los mapas de los físicos, por la sencilla razón de que estos mapas se refieren exclusivamente al dominio físico (y están obligados, por tanto, a excluir el vínculo en cuestión). Tampoco hay lugar para ello en nuestra habitual imagen cientificista del mundo; pues esta Weltanschauung cartesiana o "clásica", como se sabe, se basa en el postulado de la bifurcación. En consecuencia, niega la existencia del dominio corpóreo y, por tanto, también la existencia de un vínculo. Sin embargo, reconocido o no, el vínculo de presentación existe y, de hecho, parece estar en constante uso científico. La circunstancia de que

Si no entendemos este nexo, ya sea mediante la física o mediante la investigación filosófica, no parece importar lo más mínimo. ¿No se hace también un amplio uso de la percepción sensorial, que resulta no menos incomprensible?

Todo se reduce a esto: no puede haber conocimiento de lo físico.
dominio sin presentación -así como no puede haber conocimiento del mundo corpóreo en ausencia de percepción sensorial. Por supuesto, no hay manera de convencer al escéptico acérrimo de que el universo físico existe, y mucho menos de que puede ser conocido; y siempre es posible, ciertamente, recaer en un reduccionismo positivista. Baste decir, sin embargo, que no se puede evitar la idea de presentación, excepto a costa del universo físico.

La pregunta que surge ahora es: ¿Qué podemos aprender sobre un objeto físico a partir de su presentación? A pesar de que X y SX son tan diferentes como podría ser (pensemos en una bola de billar roja, por ejemplo, y en una nube de átomos), debe haber una cierta semejanza entre los dos, de lo contrario X podría decirnos nada sobre SX; ¿Qué es entonces esa "semejanza o conexión"? Ahora bien, lo primero que hay que señalar a este respecto es que X y SX ocupan exactamente la misma región del espacio, por extraño que esto pueda parecer.5 Pues, de hecho, no tendría ningún sentido distinguir entre un llamado corpóreo y un espacio físico, la razón es que el espacio físico no tendría significado a menos que pudiéramos relacionarlo con lo corpóreo, lo cual, sin embargo, sólo puede hacerse a través de la presentación. Pero esto equivaldría a una identificación de los dos espacios y, por tanto, a la coincidencia espacial de X y SX.

Pero esta coincidencia espacial implica que las nociones de distancia y ángulo -que pueden definirse, como se sabe, en términos de operaciones que involucran varas de medir corpóreas- se trasladan al dominio subcorpóreo. Por tanto, toda descomposición de un cuerpo

5. El hecho de que X y SX ocupen la misma región en el espacio no es en absoluto paradójico. En primer lugar, no contradice nuestra experiencia sensorial, porque la percepción pertenece sólo a X. Además, desde un punto de vista teórico, no hay nada contradictorio en la noción de dos entidades que ocupan el mismo espacio; Esto sucede, por ejemplo, en el caso de los campos. Un campo eléctrico, por ejemplo, puede coexistir con un campo magnético o gravitacional. Una vez más, lo que ves depende de cómo mires.

objeto X en partes corpóreas, corresponde a una descomposición congruente o geométricamente isomórfica de SX. En una palabra, hay una "continuidad geométrica" entre X y SX.6 Y es precisamente en virtud de esta continuidad geométrica que se pueden observar los objetos físicos. Gracias a esta continuidad se puede, por ejemplo, conocer el estado de un instrumento físico a partir de la posición de una aguja en una escala (una aguja corpórea, por supuesto, en una escala corpórea). O para decirlo en términos más generales: el estado de un instrumento físico, tal como está dado por su geometría interna -o más exactamente, por las posiciones relativas de sus partes subcorpóreas- se transmite al plano corpóreo a través de la presentación. Toda medición clara y toda forma concebible de visualización dependen de este hecho.

Una observación más: en virtud de la continuidad geométrica, la presentación constituye un modo de exhibición. De hecho, constituye lo que podría denominarse el modo primario de observación, siendo la cuestión que todas las demás formas de observación dependen de la presentación, como hemos señalado antes.

❖ ❖ ❖

Ya sea que se trate de medición o visualización, uno observa un objeto físico en un sentido científico haciendo que ese objeto interactúe con un instrumento subcorpóreo; el efecto o resultado de esa interacción se transmite luego al nivel corpóreo a través de la presentación. Sin embargo, no se debe pensar que para observar el objeto en cuestión basta con instalar el equipo adecuado, esperar a que se produzca la interacción deseada y tomar nota del resultado. De hecho, ese resultado no puede ser más que la lectura de un puntero, una impresión numérica o una presentación gráfica de algún tipo. En otras palabras, lo que produce el instrumento son datos; pero esto no es lo que busca el físico. Los datos son un medio, sin duda, pero no el fin del

6. Por supuesto, también existe una "continuidad temporal" entre X y SX. Esto significa, en primer lugar, que un objeto corpóreo X, considerado en un instante particular, constituye una presentación de SX.*en el mismo instante;*y en segundo lugar, que la noción de "distancia temporal" o duración, medida por relojes corpóreos, se traslada al reino subcorpóreo.

proceso de observación. Lo que el físico busca, evidentemente, es el objeto físico; o mejor dicho: un cierto conocimiento o aprehensión intelectual del objeto. Y esto ningún instrumento científico, ningún modus operandi empírico, puede proporcionarlo.

Por lo tanto, la observación no se efectúa únicamente por medios empíricos.

No puede haber observación genuina sin que entre en juego el aspecto teórico de la empresa. Se podría decirlo de esta manera: observar en el sentido del físico es pasar de lo perceptible a lo imperceptible, y sólo la teoría puede salvar esa brecha. Como hemos señalado antes, la teoría y la experimentación van de la mano. Los dos se combinan para constituir un único acto cognitivo, una única "forma de conocer".

Estrictamente hablando, no existe tal cosa como un "hecho empírico", siempre y cuando, por supuesto, se entienda que el término excluye el papel concomitante de la teoría. Sin embargo, la circunstancia de que nada en el dominio físico puede medirse o mostrarse sin la ayuda de premisas teóricas sirve en realidad, no para arrojar dudas sobre la validez de los hallazgos empíricos, sino para hacer que la teoría misma sea más segura y, de hecho, más "evidente". ' de lo que comúnmente se considera. La noción habitual de que los principios teóricos son meras 'hipótesis, hasta que hayan sido verificados por experimentos es, por lo tanto, exagerada y algo engañosa, porque sucede que los supuestos 'hechos sólidos de observación' pueden, en principio, tener no hay más certeza que las llamadas hipótesis sobre las que se basan.

Lo que aquellos que hablan con ligereza de "meras hipótesis" parecen no entender.

Lo que podemos apreciar es el hecho de que el intelecto desempeña un papel legítimo y muy necesario en el proceso científico. No sólo la razón, o la capacidad de pensamiento lógico, sino el intelecto, en el sentido antiguo y tradicional de una facultad de visión inmediata, cuyos objetos son "formas inteligibles". Uno tiene todo el derecho a suponer, además, que los grandes físicos no son Sólo están bien dotados en ese sentido, pero saben bastante bien cómo hacer uso de esta alta facultad en el curso de sus investigaciones. Por lo tanto, en el mejor de los casos, las premisas establecidas por los fundadores pueden poseer efectivamente una especie de validez a priori que nuestra sabiduría de manual considera imposible.

Esto recuerda un incidente en la vida de Albert Einstein.

lo que habla elocuentemente del punto en cuestión. Era el año 1919 y

El Astrónomo Real de Inglaterra acababa de anunciar, en una reunión abarrotada de la Royal Society, que las placas fotográficas expuestas durante el famoso eclipse habían confirmado la curvatura de la luz prevista. Se había enviado un telegrama a Berlín y alguien irrumpió inmediatamente en el despacho de Einstein para darle la noticia; pero el gran científico parecía totalmente impasible. '¿Qué hubieras pensado si tu teoría hubiera sido refutada?' preguntó la joven; "Entonces sentiría lástima por el Viejo": fue la respuesta.

El gran hecho es que, después de todo, el universo físico no es una contingencia absoluta. Al contrario de lo que los nominalistas han estado predicando durante siglos, es "lo universal en lo particular" lo que otorga a lo particular su medida de ser, que además coincide con su "aspecto inteligible". Y esto implica que la física en realidad se ocupa, no de existentes particulares como tales, sino de particulares en la medida en que exhiben un principio o ley universal. Lo que pueda quedar permanece necesariamente desconocido. Así, lo que la física busca y es capaz de captar a su manera es lo necesario en lo contingente, o lo eterno en lo efímero, como también se puede decir.

Se comienza, por así decirlo, con el contingente en forma de datos empíricos. El conjunto de datos, sin embargo, es de interés precisamente porque de alguna manera refleja o encarna un principio universal: es esto lo que el modelo o representación busca capturar, por así decirlo. Pero aunque el principio está en cierto modo ejemplificado por los datos, de ninguna manera nos es revelado, determinado o impuesto por ellos. ¿La representación constituye así 'una creación libre del espíritu humano? para decirlo con palabras de Einstein, lo que no significa, por supuesto, que sea meramente subjetivo o totalmente arbitrario. En efecto, lo que la representación representa a su manera es un principio objetivo ejemplificado en los datos, como hemos dicho: el mismo principio, de hecho, que se ejemplifica ante todo en el objeto físico mismo. Un mismo principio se refleja así en tres niveles diferentes: en el objeto físico, en el conjunto de datos y en el modelo o representación. Y esa es la razón, después de todo, por la que el objeto físico es

7. A. Einstein yl.Infeld,*La evolución de la física*(Nueva York: Simon y Schuster, 1954), p33.

conocible. Dicho brevemente, conocemos el objeto por medio del principio y el principio por medio de la representación, a la que a su vez se llega por medio del conjunto de datos.

Sin embargo, es necesario entender que el paso del conjunto de datos a la representación no debe efectuarse únicamente mediante el razonamiento. No se llega a las "creaciones libres" de Einstein simplemente por lógica o siguiendo un conjunto de reglas; no es una tarea que pueda ser realizada por una computadora. Y en rigor, la aprehensión misma del modelo o representación implica cierta visión intelectiva, y por tanto involucra al intelecto, en el sentido de*De buena fe*sentido. El acto intelectivo, por otra parte, mediante el cual "percibimos" la representación, proporciona al mismo tiempo una cierta aprehensión del principio mismo. Por lo tanto, en cierto sentido, el físico "ve" los objetos físicos con los que trata: los "ve" a través de su representación y, por tanto, en su principio o "aspecto inteligible":

Pero eso es precisamente lo que aquellos que hablan con ligereza de "meras hipótesis" no han logrado captar: porque, de hecho, en lo que respecta a "ver", existe la posibilidad de "ver lo verdadero", y también de certeza. En cierto sentido, después de todo, "ver para creer". ¿Y no es ésta la razón, finalmente, por la que Einstein pudo permanecer indiferente? ¿No había visto el principio? Suponemos que éste fue efectivamente el caso, lo que explica y justifica la lacónica respuesta de Einstein ("Entonces sentiría lástima por el Viejo").

Se podría objetar que, dado que las teorías físicas son necesariamente aproximaciones, no se puede suponer que proporcionen ningún conocimiento verdadero de los objetos físicos, o que se haya podido llegar a ellas por medio de un acto intelectivo casi infalible. ¿Pero por qué no? Hay que recordar, en primer lugar, que el universo físico se presenta en varios niveles correspondientes a la naturaleza y precisión de los instrumentos a través de los cuales se observa. No hay nada incongruente en la suposición de que cada nivel exhibe sus propias leyes o "formas matemáticas" - siempre, por supuesto, que las leyes asociadas con un nivel no contradigan las de otro. En particular, si el nivel A resulta ser más fundamental o "preciso" que el nivel B, entonces las leyes conocidas relativas a B deberían derivarse de las leyes relativas a A, como de hecho parece ser siempre el caso. Por ejemplo, se puede derivar de la

relativista al suponer que las velocidades son pequeñas en comparación con la velocidad de la luz; o la termodinámica de los gases se puede obtener a la Boltzmann de la mecánica clásica de partículas, que a su vez puede concebirse como un caso límite de la mecánica cuántica; Etcétera. Sin duda, desde el punto de vista del nivel A, las leyes correspondientes al nivel B son aproximadas; pero esto no implica en lo más mínimo que las formas matemáticas en cuestión sean "meramente subjetivas", como tampoco el hecho de que una rueda, digamos, no sea un círculo perfecto implica que su forma circular o "circularidad" sea, por tanto, ficticia. . En otras palabras, si se da el caso de que las formas matemáticas no existen en el dominio físico con "absoluta fidelidad", no se sigue de ninguna manera que no existan en él en absoluto. En resumen, uno descubre que cada teoría importante se aplica dentro de su propio ámbito y que, después de todo, los fundadores "vieron la verdad". En lo que quizá se equivocaron, por otra parte, fue en suponer que las leyes en cuestión se aplican sin restricciones. Newton, por ejemplo, no previó a Einstein, y el propio Einstein, como sabemos, experimentó grandes dificultades para admitir el reino cuántico. Todo físico verdaderamente influyente, tal vez, tenga tendencia a ampliar su visión más allá de los límites que le corresponden.

Si el universo físico no encarnara o reflejara de alguna manera formas matemáticas, sería simplemente ininteligible y la física no existiría. Por lo tanto, encarna o refleja formas matemáticas y, de hecho, está constituido por esas mismas formas: precisamente por su "estructura matemática".

❖ ❖ ❖

De lo que se ocupa la física, en última instancia, son de estructuras matemáticas existenciadas. Sin embargo, hay que admitir que tanto los profanos como los expertos tienden invariablemente a revestir estas entidades matemáticas con formas imaginativas más o menos concretas derivadas sin duda de la experiencia sensorial. O mejor dicho, necesitamos vestir estas entidades intangibles con imágenes sensoriales de un tipo u otro para ponerlas dentro del alcance, por así decirlo, de nuestras facultades mentales. Además, en el caso del matemático o del físico informado, este procedimiento es perfectamente válido y desempeña, de hecho, un papel vital en la comprensión.

de estructuras y relaciones de tipo matemático. En manos del experto, la forma concreta se convierte en un símbolo, un catalizador de la intelección, por así decirlo. El teórico consumado sabe muy bien cómo extraer de la imagen concreta una forma abstracta que pueda tener una analogía con la estructura matemática que desea comprender. Ha aprendido a aprovechar lo esencial y descartar el resto. De hecho, éste es el "arte oculto" que es necesario dominar. Después de un aprendizaje más o menos extenso, uno llega finalmente a dominar el uso mental de lo que en términos generales podría denominarse "ayudas visuales", que pueden variar desde simples imágenes de entidades materiales hasta cosas tales como gráficos y diagramas, sin olvidar que incluso un La fórmula matemática conlleva necesariamente un aspecto visual y sintáctico que también desempeña su papel. 8 Así, se puede decir de las matemáticas y la física, no menos que de cualquier otra empresa humana, que "ahora vemos a través de un cristal, en oscuridad"; En general, las formas sensibles sirven como "vaso".

El uso de imágenes o de soportes sensibles, sin embargo, puede fácilmente volverse ilegítimo y convertirse en una especie de idolatría intelectual. Todo depende de si entendemos la diferencia entre una representación visual -lo que los escolásticos llamarían un "fantasma"- y el objeto físico o matemático que se supone que de alguna manera representa. En el momento en que se confunden imagen y objeto, sobreviene el error; cuando los fantasmas se confunden con la realidad, sobreviene la fantasía. Pero, a decir verdad, la línea se cruza y se vuelve a cruzar fácilmente, hasta el punto de que puede ser más realista hablar, no de conocimiento puro versus fantasía absoluta, sino de grados. La distinción lógica, sin embargo, entre un empleo "simbolista" y "concreto" de phantasmata conserva su plena validez y sus derechos, a pesar de la debilidad humana.

Hay, pues, grados de comprensión, e incluso los físicos no están en modo alguno exentos de la tendencia a la concretización. En otras palabras, ellos también son propensos en ocasiones a "cosificar" el objeto físico.

8. Podría señalarse a este respecto que el lenguaje -y por tanto el pensamiento- tiene evidentemente su apoyo sensorial, por auditivo que sea. Sin embargo, cuando se trata de la comprensión de la estructura matemática, son sin duda los símbolos visuales los que desempeñan el papel principal.

(como diremos en adelante) a través de una aceptación más o menos ingenua de los soportes visuales; e incluso se podría argumentar que, por regla general, cosifican de este modo con bastante libertad, siempre que los fantasmas en cuestión no entren en conflicto demasiado abiertamente con la lógica. o exigencias matemáticas de su teoría. Y, sin embargo, la cosificación incluso del tipo más aparentemente inocuo es siempre ilegítima; en contraste con un uso genuinamente simbolista de soportes visuales, proyecta espuriamente cualidades sensibles en un dominio donde tales cualidades no tienen lugar. Por así decirlo, la cosificación "corporea" lo que es inherentemente incorpóreo y, por lo tanto, confunde el plano físico con el corpóreo.

No se puede negar que la cosificación estaba muy extendida en todo el Nuevo Testamento.

época tónica. En primer lugar, estaba la mecánica de los cuerpos rígidos y no rígidos, por lo tanto de los objetos subcorpóreos, que sin duda eran rutinariamente cosificados mediante la identificación con las entidades corpóreas correspondientes. También había una gravitación, sin duda, que no podía abordarse de esta manera; pero esta circunstancia fue percibida como una anomalía. El propio Newton intentó (en Óptica) explicar la fuerza gravitacional en términos del gradiente de presión de un hipotético fluido interplanetario; pero también reconoció con admirable claridad que, en un sentido técnico o computacional, la cuestión no tenía ninguna relación con la física. Para calcular el movimiento de los cuerpos bajo la acción de la fuerza gravitacional, lo único que importa es la ley matemática que describe cómo una "partícula de masa" afecta a otra; y Newton tenía buenas razones para suponer que su propia ley de gravitación había resuelto este asunto de una vez por todas.

Sin embargo, el anhelo de explicaciones mecanicistas no disminuyó. Era una época en la que los hombres de ciencia miraban expectantes a la Mecánica como la clave para desentrañar casi todos los fenómenos; y que la Weltanschauung, como sabemos, obtuvo sus victorias. Además de sus principales descubrimientos (las leyes del movimiento y de la gravedad, y la consiguiente explicación de las órbitas planetarias), el propio Newton fue pionero en una acústica que, de hecho, redujo el sonido a un fenómeno de mecánica continua, y comenzó al menos a especular (muy correctamente) que la temperatura y el calor tenían que ver con la "agitación vibratoria de las partículas". No deja de ser interesante señalar que una segunda teoría del calor, menos feliz pero no menos mecánica que la newtoniana, hizo su aparición en

aproximadamente al mismo tiempo y fue ampliamente aceptado durante unos doscientos años. Según esta visión, el calor era supuestamente un fluido "sutil, invisible e ingrávido" llamado flogisto, que se pensaba que de alguna manera impregnaba los cuerpos y fluía desde las regiones calientes a las frías, de forma muy parecida a como los fluidos ordinarios fluyen a lo largo de un gradiente de presión. No fue hasta mediados del siglo XIX que se abandonó finalmente la doctrina del flogisto en favor de la teoría newtoniana, gracias al trabajo de Joule y Helmholtz.

Además de las diversas ramas de la mecánica, incluida la todavía problemática teoría del calor, la física newtoniana también comprendía la óptica como una rama de investigación más o menos independiente y exitosa. Nadie tenía serias dudas de que este dominio también podría eventualmente entenderse en términos mecánicos, y de hecho existían dos modelos mecanicistas (el modelo ondulatorio de Huygens y la teoría corpuscular de Newton) que pretendían explicar el fenómeno de la luz.

También existía una química rudimentaria, a la que Newton, por ejemplo,

uno, dedicó un inmenso esfuerzo. Sólo que en aquella época no existía la más mínima posibilidad de explicar los fenómenos químicos en términos matemáticos, y mucho menos mecánicos, lo que sin duda es la razón por la que Newton nunca publicó un tratado separado sobre este tema. Sin embargo, como era de esperar, Newton y sus pares se inclinaron fuertemente hacia una teoría mecanicista de los átomos, que pronto pasó a ser considerada en círculos más amplios como un dogma científico incontrovertible. Como lo expresó Voltaire, con su habitual aplomo:

> Los cuerpos más duros se consideran llenos de agujeros como tamices, y en realidad eso es lo que son. Los átomos son principios reconocidos, indivisibles e inmutables, a los que se debe la permanencia de los distintos elementos y de las distintas clases de seres. 9

Cabe señalar, finalmente, que además de la mecánica y la óptica -y de un atomismo imaginado- los newtonianos también estaban versados en la electricidad y el magnetismo: fenómenos de carácter rudimentario.

9. VerWCmás húmedo,*Una historia de la ciencia*(Cambridge: Cambridge University Press, 1948), p167.

amable. 1° Sin embargo, por diversas razones, poco se pudo avanzar en este ámbito hasta el siglo XIX, cuando se dispuso de los medios necesarios y la investigación prosperó, culminando con la

Magnífica teoría de Faraday y Maxwell. Y con el descubrimiento del campo electromagnético, la perspectiva mecanicista empezó por fin a debilitarse. El concepto de estructura pura, de forma matemática, estuvo a punto de suplantar las nociones mecánicas de la época newtoniana. Pero la transición fue gradual. El propio Maxwell concibió el campo electromagnético a lo largo de líneas mecánicas en términos de un éter (otro fluido "sutil, invisible e ingrávido" no muy diferente del desafortunado flogisto), y esta visión fue ampliamente aceptada durante varias décadas. En retrospectiva, se puede ver que dentro de la comunidad científica todavía estaba vigente un poderoso sesgo a favor de las explicaciones mecanicistas, y que aparentemente se requirió toda la fuerza de un experimento refinado más el genio audaz de Einstein para superar esta propensión inveterada. Sin embargo, la transición se logró y ahora nos hemos reconciliado con el campo electromagnético, por ejemplo, como una entidad física por derecho propio, una "estructura" que no puede reducirse a categorías mecánicas.

Pero aunque hemos desechado el éter y ya no ansiamos modelos mecanicistas, todavía necesitamos apoyos sensatos. El campo electromagnético, no menos que cualquier otro objeto físico, debe concebirse así (no, por cierto, en términos mecanicistas), pero sí en virtud de representaciones apropiadas de tipo visual. Como todo estudiante sabe, el campo eléctrico en un punto está dado por un vector, una entidad matemática que tiene una longitud y una dirección y, en consecuencia, puede representarse como una flecha (preferiblemente pequeña, que pueda localizarse convenientemente en el punto en cuestión). pregunta. De hecho, uno se inclina por colocar la flecha con su "cola" exactamente en el punto P. Con un poco de esfuerzo ahora se puede representar un campo eléctrico en un momento dado como una distribución tridimensional continua de tales

10. Newton no sólo reconoció las fuerzas gravitatorias y electromagnéticas, sino que parece que también anticipó las fuerzas nucleares, como se puede deducir de la siguiente afirmación en el[31][51]consulta de la*Óptica:*"Las atracciones de la gravedad, el magnetismo y la electricidad alcanzan distancias muy sensibles, y por eso han sido observadas por ojos vulgares, y puede haber otras que alcancen distancias tan pequeñas como hasta ahora para escapar de la observación".

flechas, que cambian su longitud y dirección de acuerdo con las exigencias de la teoría matemática. Lo mismo se puede hacer con el campo magnético y, por tanto, con el electromagnético, lo que requiere la fijación de dos flechas en cada punto, correspondientes a las componentes eléctrica y magnética del campo. Para facilitar aún más nuestra comprensión, se podría incluso pensar en los vectores eléctricos en rojo y los magnéticos en azul, un dispositivo que permite producir imágenes impresionantes de una onda electromagnética. II No estoy sugiriendo, por supuesto, que alguien pueda ser lo suficientemente simple como para tomar al pie de la letra la noción de "vectores rojo y azul"; Mi punto, más bien, es doble. En primer lugar, hay que admitir que, al menos en el plano mental, representaciones de este tipo general son necesarias y, de hecho, legítimas como apoyo sensible al concepto de campo electromagnético. Y siendo este el caso, es en principio posible y, de hecho, bastante fácil, cosificar el campo electromagnético; todo lo que uno necesita hacer a este respecto es olvidar que un vector eléctrico o magnético en P no es en realidad una flecha, sino algo de un tipo totalmente diferente que de hecho no puede ser "representado" en absoluto, excepto, por supuesto, mediante mediante un artificio como el de la flecha. En una palabra, hay que dar un salto, y puede que no sea fácil saber desde fuera si una persona "está mirando el dedo o la luna".

Se podría argumentar que desde un punto de vista suficientemente pragmático poco importa; y esto suele ser cierto. Sin embargo, en este caso sucede que la cosificación indicada del campo electromagnético es inadmisible incluso desde un punto de vista técnico, debido a que los vectores eléctrico y magnético no son invariantes de Lorentz. En otras palabras, la descomposición del campo electromagnético en componentes eléctricos y magnéticos depende de la elección del sistema de referencia. Y lo único que es invariante y, por tanto, objetivamente real resulta ser, no un par de vectores en un espacio tridimensional, sino una llamada forma 2 exterior en un espacio-tiempo de cuatro dimensiones. Mientras tanto, nuestros 'vectores rojo y azul' conservan, no obstante, su validez y uso como representación del campo electromagnético, siempre y cuando se entienda que tal imagen no debe tomarse de frente.

11. Por supuesto, es necesario tener en cuenta la dependencia temporal del campo. Esto se puede hacer, por ejemplo, mediante una visualización gráfica animada.

valor, y que incluso en un sentido formal se aplica sólo dentro de una clase restringida de marcos de referencia. En lo que respecta a la forma exterior de 2 formas, ésta también necesita apoyos visuales; pero no existe ninguna imagen, ninguna representación concreta en el espacio y el tiempo ordinarios, con la que pueda identificarse este objeto matemático. En una palabra, el campo electromagnético no puede cosificarse de manera invariante de Lorentz.

De hecho, lo mismo se aplica a otras estructuras invariantes de Lorentz y, por tanto, a la física relativista en su conjunto. Y esta es sin duda la razón principal por la que la relatividad nos parece tan formidable: es "difícil, en virtud del hecho de que no puede ser cosificada impunemente". Además, cuando se trata del micromundo, lo mismo sucede incluso cuando se descuida el requisito de la invariancia de Lorentz, en la medida en que el dualismo onda-partícula evidentemente prohíbe la cosificación de las llamadas partículas. En efecto, estos objetos no pueden representarse consistentemente como partículas, porque en el contexto de ciertos experimentos se comportan como ondas; y por la misma razón, no pueden representarse como ondas. En consecuencia, no pueden representarse en absoluto, y esto es precisamente lo que nos desconcierta.

Lo que ha sucedido en nuestro siglo es que la física se ha visto impulsada, por su propio terreno, a rechazar interpretaciones ingenuas y a mantener una postura rigurosamente simbolista con respecto a las representaciones concretas. O mejor dicho, se ha visto obligada a mantener esa postura en el ámbito de las altas velocidades y, sobre todo, en el micromundo. Por otra parte, cuando se trata del dominio físico macroscópico ordinario, la tendencia a cosificarse todavía se manifiesta, incluso en autores que discuten extensamente sobre el tema de la "extrañeza cuántica", como si 1024 átomos pudieran representarse más fácilmente que uno. ! Aún no se ha reconocido que existe una diferencia ontológica entre los dominios físico y corpóreo, y que la brecha no puede cerrarse mediante la mera agregación de las llamadas partículas.

III

MICROMUNDO E INDETERMINACIÓN

UNA COSA ES HABLARde un objeto físico genérico, como <el campo electromagnético», por ejemplo, y otra muy distinta hablar de un objeto físico específico, del tipo que existe concretamente y que realmente puede observarse. Y la diferencia es ésta: mientras que el objeto genérico está determinado únicamente por un modelo o representación matemática, esta última está sujeta, además, a determinaciones de tipo empírico. Es un objeto, en otras palabras, con el que ya hemos establecido un cierto contacto observacional. Por ejemplo, se puede hablar del planeta Júpiter porque efectivamente ha sido observado o detectado; y también se podría buscar el planeta Plutón (descubierto en 1930), porque este último también había sido observado, no directamente, por supuesto, sino a través de sus efectos sobre otros planetas.

Por supuesto, existen grados de especificación; la distinción,

Sin embargo, la diferencia entre lo genérico y lo específico está bien definida y resulta crucial. Porque sucede que la física se ocupa, ante todo, de objetos físicos del "tipo específico": se podría decir que estos son sus objetos <reales', a diferencia de entidades (tales como "el campo electromagnético") que existen en algún lugar. sentido abstracto, idealizado o puramente matemático. Los objetos "reales" de la física, por tanto, son entidades que no sólo pueden observarse en algún sentido adecuado, sino que, de hecho, ya han sido observadas. Al igual que Júpiter o Plutón, han sido especificados hasta cierto punto por una serie de observaciones. Utilizaré el término "especificación" para referirme al acto o actos empíricos mediante los cuales se especifica un objeto físico; y con

Según esta comprensión, se puede decir que un objeto no es específico hasta que haya sido especificado. 1

Consideremos ahora algunos ejemplos de especificación. En el caso de objetos subcorpóreos es normal o natural especificar SX mediante el correspondiente objeto corpóreo X, es decir, mediante presentación. Por otra parte, también es posible especificar un objeto subcorpóreo SX por medios más indirectos, como por ejemplo en el caso de Plutón, citado anteriormente. Habiendo sido especificado por cualquier medio, el objeto puede, por supuesto, especificarse aún más mediante determinaciones adicionales; La especificación, como ya se dijo, está sujeta a grados.

Si bien los objetos subcorpóreos pueden especificarse mediante la presentación (o mejor dicho, sólo mediante la presentación), esta opción no existe en el caso de un objeto transcorpóreo, como un átomo, por ejemplo, o una partícula elemental. Así, cuando se trata de objetos transcorpóreos, la especificación procede necesariamente en dos etapas: primero, el objeto debe interactuar con una entidad subcorpórea, que a su vez es observada (o se vuelve observable) a través de la presentación. Consideremos, por ejemplo, un campo electromagnético producido en el laboratorio: en primer lugar, el campo interactúa con el aparato científico que lo genera; y este aparato (concebido ahora como un objeto subcorpóreo) puede entonces observarse a modo de presentación. O también, un contador Geiger registra la presencia (dentro de su cámara) de una partícula cargada. La partícula entra en la cámara y provoca una descarga eléctrica, que luego se registra de alguna manera a nivel corporal (en forma de un clic audible, tal vez, o de la lectura de un contador). Ahora bien, esta cadena de acontecimientos constituye, evidentemente, una especificación de la partícula. A partir de ahora se podrá hablar de "partícula X", aunque quizá nunca más sea posible restablecer el contacto observacional con la partícula X. Por otro lado,

1. Sin embargo, esto no significa necesariamente que un objeto físico específico no existiera antes de su especificación. No estoy sugiriendo, por ejemplo, que el planeta Júpiter se materializara de algún modo en el momento en que fue observado por primera vez. Lo que estoy diciendo es que primero es necesario especificar un objeto antes de poder preguntar, entre otras cosas, si ese objeto existió, digamos, hace mil años. Y en el caso de Júpiter, por supuesto, la respuesta a esta pregunta resulta afirmativa. Hay otros tipos de objetos, como veremos a continuación, en los que este no es el caso.

Por otra parte, con la ayuda de instrumentos más complicados el experimentador es capaz no sólo de establecer un contacto de observación inicial con una partícula, sino que también puede realizar observaciones adicionales. En otras palabras, una vez especificada la "partícula X", puede someterla a nuevas mediciones, como hizo, por ejemplo, Hans Dehmelt, el reciente premio Nobel, que logró "encarcelar" un positrón en un llamado Penning trampa durante un período de unos tres meses, durante el cual la partícula dada (apodada 'Priscilla') pudo observarse con grados de precisión sin precedentes.

Pero sea como sea, lo que ahora nos concierne es el siguiente hecho general: ya sea que se trate de una partícula fundamental o de la entidad subcorpórea más simple, no se puede hablar de un objeto físico X hasta que se haya establecido un cierto contacto observacional inicial con X. . Los objetos físicos no “crecen simplemente en los árboles”: primero necesitan ser “especificados” en el sentido técnico que le hemos dado a este término.

❖ ❖ ❖

Ahora surge la pregunta de si es posible especificar un objeto físico de manera tan completa que el resultado de todas las observaciones adicionales pueda predecirse o, en todo caso, determinarse de antemano. Sin embargo, será conveniente reformular ligeramente esta pregunta, después de introducir algunas distinciones adicionales. De conformidad con el uso aceptado, utilizaré el término "sistema" para designar una representación abstracta o matemática de un objeto físico. Un objeto físico, concebido en términos de una representación dada, puede entonces denominarse sistema físico. Es la representación o sistema abstracto, además, lo que define los observables: las cantidades asociadas al sistema físico, que en principio pueden determinarse por medios empíricos. En otras palabras, lo que es y lo que no es observable depende no simplemente del objeto, sino de la forma en que ese objeto es concebido. Una bola de billar, por ejemplo, considerada como una esfera rígida, admite un número indefinido de observables bastante poco sofisticados (comenzando por su masa: su diámetro y sus coordenadas de posición y velocidad); concebido como un conjunto de átomos, por otro lado, admite una multitud de otros observables. Especificación

se refiere en consecuencia al sistema físico, a diferencia del objeto como tal. Dado un sistema físico y un subconjunto de sus observables, se puede decir que este subconjunto es especificable si es posible medir cada observable en el subconjunto (de modo que, al terminar el experimento compuesto, los valores de todos estos observables sean conocido). Por lo tanto, la pregunta planteada anteriormente puede reformularse de la siguiente manera: dado un sistema físico, ¿existe un subconjunto especificable de sus observables, cuya determinación experimental determinará los valores de todos los demás observables del sistema? En otras palabras, ¿es posible hacer que un sistema físico esté completamente determinado mediante la especificación? Hoy se sabe, a la luz de la teoría cuántica, que esta pregunta debe responderse negativamente. En realidad, no existe un sistema físico completamente determinado (uno para el cual se puedan predecir los valores exactos de todos los observables). Y esto es así, no simplemente porque uno es incapaz de controlar o monitorear las fuerzas externas con la precisión requerida, sino también debido a una cierta indeterminación residual intrínseca al propio sistema físico, que ninguna especificación puede disipar.

Por otra parte, mientras se trate de sistemas físicos a gran escala de un tipo suficientemente simple, los efectos de esta indeterminación residual pueden no ser mensurables o pueden ser tan pequeños que no desempeñen un papel significativo.2 En un contexto formal En sentido aproximado y aproximado, por tanto, se puede hablar de un sistema físico determinado; y éstos, sin duda, son precisamente los sistemas de los que se ocupa la física clásica y a los que se aplica. Un sistema así puede entonces describirse o representarse en términos de un conjunto completo de observables, un conjunto en términos del cual se pueden expresar todos los demás observables. Y esto significa que ya no necesitamos distinguir entre el sistema como tal y sus observables; el sistema puede identificarse, de hecho, con un conjunto completo de observables. ¿Qué es, por ejemplo, un campo eléctrico concebido clásicamente? Es una distribución continua de vectores eléctricos: ¡de observables, claro está! Tal reducción del sistema a un

2. Estrictamente hablando, no es sólo el número de átomos, digamos, lo que cuenta a este respecto, sino también la disposición de estos átomos. En el caso de los llamados arreglos aperiódicos, por ejemplo, los efectos cuánticos pueden entrar en juego incluso en conjuntos macroscópicos.

Además, un subconjunto de sus observables está implícito en el propio formalismo de la física precuántica, que se ocupa exclusivamente de las relaciones funcionales entre cantidades observables. Un sistema físico clásico, por tanto, no es más que una distribución en el espacio y el tiempo de ciertas magnitudes escalares o tensoriales observables. 3

Por otra parte, donde hay indeterminación, el formalismo clásico se derrumba. Entonces es necesario distinguir categóricamente entre el sistema físico S y sus observables, los cuales no todos pueden, en principio, determinarse mediante especificación. En consecuencia, la reducción clásica (del sistema a sus observables) es admisible sólo en lo que podría denominarse el límite clásico: es decir, bajo condiciones que garanticen que los efectos de la indeterminación no desempeñen ningún papel mensurable o significativo. Fuera de este límite, o de este dominio restringido, la física requiere un formalismo no clásico, necesidad que fue brillantemente satisfecha en1925con el descubrimiento de la mecánica cuántica. El nuevo formalismo, como sabemos, distingue entre sistema y observables, y sobre esta base permite realizar transacciones físicas frente a la indeterminación.

❖ ❖ ❖

A menudo se hace una distinción entre el llamado micromundo y el macromundo, como si el universo físico pudiera de alguna manera dividirse en dos subdominios que respondieran respectivamente a estas designaciones. Uno podría preguntarse, por supuesto, cuántos átomos o partículas subatómicas se necesitan para llevarnos del micromundo al macromundo; pero entonces, ¿cuál es el objetivo de esta distinción en primer lugar? Ahora bien, la cuestión, al parecer, es que se supone que los "gran escala", o los llamados macrosistemas, se prestan a una descripción en términos más o menos "continuos". Consisten, por tanto, en agregados atómicos o subatómicos que pueden aproximarse efectivamente mediante modelos clásicos.ÉlSin embargo, es necesario entender claramente que la distinción

3. Es razonable suponer que este "paso al límite clásico" puede no ser legítimo incluso en el caso de los organismos vivos más simples. Como algunos han conjeturado, no es improbable que la indeterminación cuántica desempeñe un papel vital en los fenómenos de la biosfera.

entre agregados "grandes" y "pequeños" carece de significado ontológico alguno. O dicho de otro modo: la noción de macrosistema, en particular, pertenece al ámbito práctico o pragmático; tiene que ver con los grados de aproximación y la viabilidad de ciertos modelos simplificados. En realidad, sin embargo, todo objeto físico constituye un microsistema, en virtud del hecho de que está compuesto de átomos o partículas fundamentales. Así, el micromundo, lejos de constituir un subdominio, coincide en realidad con el universo físico en su totalidad.

Mientras tanto, la escala tiene su importancia. El punto, sin embargo, ¿No es que la realidad física se vuelve de algún modo extraña en lo pequeño; pero que uno está obligado, a medida que avanza en la dirección de lo pequeño, a descartar los modelos idealizados y tratar eventualmente el objeto físico como un agregado de partículas fundamentales. El hecho de que los objetos físicos, sin excepción, estén compuestos en realidad de estas llamadas partículas más pequeñas significa que la física de estas "partículas" es de hecho la física fundamental. Es, pues, precisamente en los dominios atómico y subatómico donde la física se ve obligada a descender, por así decirlo, a su propio nivel fundamental.

Sin embargo, persiste la creencia de que el universo físico se vuelve cada vez más "extraño" a medida que uno se acerca a las dimensiones atómicas y subatómicas. Se supone que los objetos grandes se comportan de una manera más o menos familiar y razonable, mientras que los átomos y las partículas actúan de maneras muy extrañas. De hecho, es tan extraño que, según algunas autoridades, incluso las leyes habituales de la lógica dejan de aplicarse dentro de ese extraño dominio. Sin embargo, de lo dicho anteriormente se deduce que los llamados objetos de gran escala de la física son en realidad tan "extraños" como el electrón o el quark; lo único que ocurre es que cuando se trata del primero, con frecuencia es permisible ignorar esta extrañeza, por así decirlo, concibiendo el objeto en términos de un modelo clásico, del tipo que de hecho responde más o menos a las demandas de nuestra imaginación o de nuestra imaginación. sentido común. Pero lo que resulta familiar en cierto modo es precisamente el modelo y no el objeto como tal. Y se podría añadir que incluso el primero se recomienda a nuestra imaginación sólo porque inmediatamente se da un segundo paso: de una manera u otra se identifica el modelo clásico con un objeto corpóreo de algún tipo; en una palabra, después de pasar al límite clásico, uno

cosifica. Y entonces, por fin, habiendo regresado sano y salvo, por así decirlo, a la tierra firme del dominio corpóreo, uno se encuentra con lo familiar; pues, en efecto, para nosotros lo familiar no es otra cosa que lo perceptible.

Mientras tanto, el micromundo -y por tanto el universo físico en general- es ciertamente "extraño" en el sentido de que no puede ser percibido ni imaginado; pero no es "extraño cuántico" en el sentido más o menos popular. Por ejemplo, de ningún modo se da el caso de que el electrón sea a veces una partícula y otras una onda, o que de algún modo sea partícula y onda a la vez, o que "salta" erráticamente de un punto a otro, etc. De hecho, este tipo de "extrañeza cuántica" surge simplemente de una incapacidad para distinguir entre el microsistema como tal y sus observables (el electrón, en este caso, y su posición, momento y otras variables dinámicas). En efecto, se tratan estos últimos como atributos clásicos del electrón, lo que no son ni pueden ser. O, para decirlo de otra manera, se proyectan espuriamente los resultados de mediciones distintas e interferentes sobre el propio electrón, que en consecuencia parece combinar atributos lógicamente incompatibles. Es así como el electrón puede parecer a la vez onda y partícula, o participar en un régimen de "salto" que de hecho desafía la comprensión. Se podría decir que este tipo de "extrañeza cuántica" resulta de un realismo acrítico y espurio, un realismo que de hecho confunde los planos físico y corpóreo.

La interpretación predominante de Copenhague, por otra parte, evita este escollo al evitar por completo el realismo con respecto al micromundo. "No existe un mundo cuántico", dijo Bohr; y mientras que ha habido un debate considerable sobre qué quiso decir exactamente Bohr con esta máxima tan citada, los copenhagueses, por regla general, evitan una concepción abiertamente realista de los sistemas microfísicos. Su tendencia dominante, al parecer, es la de no meterse en problemas, por así decirlo, recurriendo a una postura básicamente positivista cuando se trata del micromundo.

Para nosotros, por otra parte, el micromundo es objetivamente real; tan real, de hecho, como el universo físico en general, con el que de hecho coincide. '

A menudo se ha dicho que el micromundo es indeterminista, 4 y esta afirmación se basa, presumiblemente, en el principio de incertidumbre de Heisenberg, o en el fenómeno de la indeterminación, que equivale a lo mismo. Sin embargo, queda la cuestión de si la incertidumbre -o la indeterminación- de Heisenberg implica indeterminismo.

Para empezar, observemos que la incertidumbre de Heisenberg no se refiere al micromundo o universo físico como tal, sino a los resultados de las mediciones y, por tanto, a una transición del plano físico al corpóreo. En el plano del micromundo mismo, por otra parte, no existe la incertidumbre de Heisenberg. No se puede decir, por ejemplo, que la posición o el momento de un electrón sea incierto o indeterminado, por la sencilla razón de que un electrón, en sí mismo y por sí mismo, no tiene posición ni tampoco momento. En lenguaje técnico, se describe mediante un vector de estado, que como regla general no será un vector propio de ninguno de los observables.

Entonces, ¿qué nos dice en general el llamado vector de estado de un sistema físico acerca de un observable? Nos dice principalmente dos cosas, las cuales son probabilísticas y, en consecuencia, estadísticas en su contenido empírico. Así, en primer lugar, el vector de estado determina un valor esperado, es decir, el valor promedio de lo observable sobre un número suficientemente grande de observaciones, un concepto que de hecho puede interpretarse en términos precisos. Y en segundo lugar, el vector de estado determina la llamada desviación estándar, otra cantidad probabilística, que nos dice, en términos generales, qué tan cerca, en promedio, estarán los valores observados de los esperados. Y a esta noción, huelga decirlo, se le puede dar una vez más un sentido estadístico preciso.

Ahora, recordemos que el principio de incertidumbre de Heisenberg tiene que

ver con las desviaciones estándar .1p y .1q asociadas con los observables conjugados p y q. Lo que afirma el principio, de hecho, es que

$$.1p \; .1q \quad \textit{hhn,}$$

4. Por supuesto, hay que tener en cuenta el determinismo clásico; pero el problema se resuelve fácilmente basándose en que las leyes clásicas que permiten predecir la evolución de un sistema físico son inherentemente probabilísticas y aplicables sólo al macromundo.

donde h es la constante de Planck. Esto constituye una afirmación matemática precisa, que puede derivarse de los axiomas de la teoría cuántica e interpretarse empíricamente en términos de conjuntos estadísticos.

De lo que depende la teoría cuántica es del hecho de que el vector de estado -o equivalentemente, el sistema físico-, aunque en general no determina los resultados de las mediciones individuales, sí determina en cualquier caso su distribución estadística. Mientras tanto, sin embargo, no hay absolutamente nada "incierto" sobre el sistema físico como tal. De hecho, el caso es análogo al de una moneda, que puede salir "cara" o "cruz" cuando se lanza al aire. Aquí también el hecho de que no se pueda saber de antemano en qué dirección aparecerá la moneda no significa que la moneda misma sea de alguna manera "indeterminada"; En otras palabras, la llamada incertidumbre se refiere obviamente al lanzamiento y no a la moneda. Y agreguemos que este último -nada menos que un sistema de mecánica cuántica- determina la distribución de probabilidad de sus "observables": por ejemplo, determina la distribución (y por tanto el valor esperado y la desviación estándar) del número de "caras" en n ensayos, como recordará todo estudiante de teoría de la probabilidad.

Si los sistemas de mecánica cuántica, entonces, no son en sí mismos 'incierto; ¿Son, no obstante, indeterministas? Ahora bien, decir que un sistema físico es determinista es afirmar, presumiblemente, que la evolución del sistema está determinada únicamente por su estado inicial (suponiendo, por supuesto, que conozcamos las fuerzas externas que inciden sobre el sistema). ¡Pero esto es precisamente lo que implica la célebre ecuación de Schrodinger! El micromundo, por tanto, es de hecho determinista, aunque los sistemas físicos sean indeterminados. Se podría decirlo de esta manera: el estado inicial de un sistema físico aislado (o de un sistema físico sujeto a fuerzas externas conocidas) determina sus estados futuros; pero sucede que el estado de un sistema no determina en general los valores de sus observables. Por tanto, no hay conflicto entre determinismo e indeterminación; y, de hecho, la teoría cuántica insiste en ambas cosas. Para ser precisos, es la ecuación de Schrodinger la que garantiza el determinismo, del mismo modo que el principio de Heisenberg garantiza la indeterminación.

Se puede objetar que la medición destruye la disuasión.
minismo; porque como se sabe, una medición realizada en un sistema físico puede provocar el llamado colapso del vector de estado, un evento

lo que viola la ecuación de Schrodinger. Se podría decir que la medición suprime el determinismo al interrumpir la evolución "normal" del sistema físico. Sin embargo, cabe recordar que los sistemas físicos se especifican mediante medidas. Por lo tanto, en la medida en que una medición colapsa el vector de estado, constituye un acto de especificación que altera el estado y, por tanto, el sistema físico "real". El sistema físico X que nos interesaba antes de la medición no será en general el mismo que el sistema Y resultante de esta especificación adicional. Siempre que se trate de sistemas físicos determinados, por supuesto, el sistema puede especificarse de una vez por todas. Entonces no hay colapso del vector estatal ni cambio de especificación -o "pérdida de identidad"- resultante de actos de medición posteriores. Por otra parte, cuando se trata de sistemas indeterminados, las mediciones posteriores generalmente darán como resultado la especificación de un nuevo sistema físico. Se podría decir que el sistema físico original termina -o se metamorfosea- por el colapso de su vector de estados. Sin duda, los sistemas de la mecánica cuántica no son perdurables ni "absolutos", sino que existen "para nosotros"; como objetos de intencionalidad. Estos hechos básicos, sin embargo, no impiden el determinismo, la cuestión es que un sistema mecánico cuántico se comporta, no obstante, de manera determinista (mientras exista).

Obviamente, este determinismo mecánico cuántico está muy lejos del clásico. Sin embargo, lo que se ha perdido no es tanto el determinismo como el reduccionismo: la suposición clásica de que el mundo corpóreo es "nada más que" el físico. Es este axioma el que de hecho ha quedado obsoleto debido a la separación mecánica cuántica del sistema físico y sus observables. La física cuántica, como hemos visto, opera forzosamente en dos planos: el físico y el empírico; o mejor dicho, lo físico y lo corpóreo, pues hay que recordar que la medición y la visualización terminan necesariamente en el plano corpóreo. Existen, entonces, estos dos planos ontológicos, y hay una transición de lo físico a lo corpóreo que resulta en el colapso del vector de estado. Se podría decir que el colapso presagia no un indeterminismo en el nivel físico, sino una discontinuidad, precisamente, entre los planos físico y corpóreo.

Pero mientras que el propio formalismo de la mecánica cuántica afirma que existen estos dos niveles y clama, por así decirlo, por el reconocimiento de este hecho, el sesgo reduccionista prevaleciente ha impedido que ese reconocimiento tenga lugar. No es de extrañar, por tanto, que la interpretación ontológica de la mecánica cuántica no haya ido bien.

❖ ❖ ❖

La mecánica cuántica sugiere que los sistemas microfísicos constituyen una especie de potencia en relación con el mundo real. Como señala Heisenberg, ocupan en efecto una posición intermedia entre la inexistencia y la actualidad, y en este sentido recuerdan a las llamadas potentiae aristotélicas.

Para entender esto más claramente, necesitamos tomar un poco de
Una mirada más cercana al formalismo de la mecánica cuántica. Observemos, en primer lugar, que todo observable admite un conjunto de valores posibles (los llamados valores propios) y que, en general, una medición de un observable dado puede arrojar cualquiera de estos resultados admisibles. Sin embargo, un sistema físico también puede encontrarse en un estado en el que el valor del observable dado esté determinado con certeza; y estos estados se llaman estados propios. Por ejemplo, si una medición del observable produce el valor propio A., entonces se sabe que el sistema, en ese momento, está en
un estado propio correspondiente a A.[5]

Ya he aludido al hecho de que un sistema físico, concebido mecánicamente cuánticamente, está representado por el llamado vector de estado. Más precisamente, los vectores de estado representan estados de un sistema físico.[6] Y esto evidentemente explica la noción de vectores propios a la que también me referí (en la discusión sobre la indeterminación): un vector propio, por tanto, es un vector de estados correspondiente a un estado propio.

5. Suponemos que la medición se efectúa mediante un experimento "del primer tipo": también hay experimentos "del segundo tipo" que no dejan al sistema en un estado propio correspondiente.

6. ÉlCabe decir que un vector de estado se puede multiplicar por un número complejo,
y que la multiplicación por un factor distinto de cero no altera el estado físico correspondiente.

Ahora bien, se recordará que los vectores se pueden sumar, y también multiplicar por un número (real o complejo, según sea el caso); y esto significa que los vectores se pueden combinar para formar sumas ponderadas. Por lo tanto, cada suma ponderada de vectores de estado (siempre que no sea cero) define otro vector de estado.7 Sin embargo, dado que los vectores de estado representan estados del sistema físico, cada suma ponderada corresponde a un estado físico. Se llega así al llamado principio de superposición, que afirma que las sumas ponderadas de vectores de estados corresponden a una superposición real de estados. En otras palabras, resulta que las operaciones algebraicas mediante las cuales se forman sumas ponderadas de vectores de estado (con coeficientes complejos, nada menos) tienen un significado físico. Existe, por así decirlo, un "álgebra de estados"; lo que nos permite representar estados físicos de múltiples maneras como una superposición de otros estados.8

7. Los pesos o coeficientes de estas sumas ponderadas son, en general, números complejos, y este hecho es vital para la teoría cuántica.Sino teníamos números complejos a nuestra disposición (números que implican la raíz cuadrada "imaginaria" de-1),seríamos incapaces de comprender el micromundo.

8. La superposición de estados de la mecánica cuántica puede entenderse por analogía con la superposición de ondas sonoras. Consideremos un tono producido por un instrumento musical: un violín, un oboe, un órgano, etc. Cada uno de estos tonos tiene su propia característica, su propio timbre, como se le llama; y es por eso que podemos reconocer el instrumento por su tono. Sin embargo, cada tono puede representarse como una superposición de los llamados tonos puros: tonos cuya onda sonora es un simple sonido sinusoidal. Y eso es lo que hace un sintetizador electrónico: produce el sonido de una flauta, por ejemplo, mezclando varios tonos puros en las proporciones adecuadas. Otro ejemplo de superposición lo proporciona el hecho de que se puede obtener un color arbitrario mediante la superposición de tres colores primarios. O también: la luz blanca, cuando pasa a través de un prisma, se descompone en luz de varios colores (un proceso que también puede invertirse). Es de señalar, además, que en todos estos casos de superposición estamos tratando ostensiblemente con movimiento ondulatorio de un tipo u otro. Ahora bien, dado que la superposición es fundamental para la mecánica cuántica y parece ser un fenómeno ondulatorio, uno se ve llevado a suponer que las entidades cuánticas pueden ser en realidad ondas; Y esta idea, de hecho, ha sido seriamente considerada por muchos físicos, comenzando por Erwin Schrodinger (uno de los fundadores de la teoría cuántica). El lector recordará que el término «mecánica ondulatoria» se ha utilizado a menudo como sinónimo de teoría cuántica.ÉlSin embargo, debe entenderse que si las entidades cuánticas son de hecho "ondas",

son necesariamente ondas "subempíricas": ondas que en principio no pueden observarse. Porque, como sabemos, la teoría cuántica insiste en que el sistema físico es una cosa y sus observables otra. No está claro, por tanto,

Surge la pregunta de si, para un observable arbitrario, cada estado del sistema puede representarse como una superposición de estados propios. En otras palabras, ¿puede cada vector de estado expresarse como una suma ponderada de vectores propios pertenecientes al observable dado? Y aunque este no sea el caso, en general se puede obtener una representación análoga por medios matemáticamente más sofisticados.9 Sin embargo, para evitar complicaciones técnicas que no tienen relación con el argumento, supondré que todo observable no tener un conjunto 'completo' de vectores propios: un conjunto, es decir, en términos del cual cada vector de estado puede expresarse como una suma ponderada.

Ahora bien, ¿qué tiene todo esto que ver con la afirmación de Heisenberg de que los sistemas cuánticos constituyen una especie de potentia aristotélica? Esto es lo que ahora hay que explicar. Considere la representación de un vector de estado como una suma ponderada de vectores propios pertenecientes a un observable dado. Cada vector propio corresponde a un estado propio y, por tanto, a un posible resultado de un experimento real. Por lo tanto, representa una cierta posibilidad empíricamente realizable, cuya probabilidad está de hecho determinada por el peso con el que ese vector propio ocurre en la suma dada. 10 El vector de estado en sí, como suma ponderada de vectores propios, puede, en consecuencia, verse como un conjunto o síntesis de las posibilidades en cuestión. Y si uno

---

que realmente se gana algo hablando de sistemas cuánticos como "ondas". En definitiva, parece que el principio de superposición nos dice todo lo que se puede y es necesario decir al respecto. Afirma, por así decirlo, que las entidades cuánticas pueden superponerse "como si fueran ondas de algún tipo". Y agreguemos, para los lectores con cierta exposición a las matemáticas de la teoría cuántica, que el ubicuo factor de fase exp(-2niEt/h) en el nivel de los vectores de estado efectivamente atestigua la "naturaleza ondulatoria" de los estados cuánticos. Se puede decir que la teoría cuántica ha resuelto de hecho el dilema onda-partícula relegando los dos conceptos mutuamente contradictorios a diferentes planos ontológicos: las ondas al físico y las partículas al empírico, es decir, al plano corpóreo. Eso es, en cualquier caso, lo que efectúa la separación mecánico-cuántica del sistema y sus observables.*de jure,* incluso si
gente,*de facto,* seguir confundiendo el tema al confundir lo físico con lo
dominio
corpóreo.

9. En lugar de vectores propios hay que utilizar lo que Dirac denomina 'eigenbras'; y en lugar de sumas finitas o infinitas, se requieren integrales de un tipo apropiado.

10. Suponiendo que la suma de los valores absolutos al cuadrado de los pesos es igual

1(una condición que siempre se puede lograr multiplicando el vector de estado por un

asume (como lo hemos hecho) que el vector de estado puede expresarse como una suma ponderada de vectores propios para todos y cada uno de los observables, entonces constituye, por la misma razón, una síntesis de todos los resultados posibles para cada medición concebible que pueda realizarse. en el sistema físico dado. 1 litro

Por otra parte, al finalizar una medición, el sistema estará en un estado propio perteneciente al observable dado. Si el vector de estado, antes de la medición, era una suma ponderada de vectores propios, ahora es un vector propio particular y, por tanto, si se quiere, una suma ponderada de vectores propios en la que todos los coeficientes menos uno son cero. El vector estatal se ha derrumbado, como decimos; en un instante se ha reducido a un único vector propio del observable dado: una única posibilidad, es decir, cuya probabilidad ahora ha saltado al valor I (indicativo de certeza). Mediante el acto de medición se ha seleccionado un elemento particular del conjunto dado de posibilidades y se ha realizado en el nivel empírico, es decir, corpóreo. El sistema físico, como conjunto de posibilidades, ha sido así "actualizado". ¡Pero sólo en parte! Porque mientras que el valor de un observable particular ya ha sido determinado, el sistema permanece en una superposición de estados propios para la mayoría de los demás observables. Y por tanto, a pesar de las actualizaciones parciales efectuadas por la medición, el sistema es y sigue siendo un conjunto o síntesis de posibilidades. En palabras de Heisenberg, en realidad no es una "cosa o un hecho"; sino más bien una potencia, una especie de potentia.

Como sugiere la propia terminología aristotélica, la concepción de los sistemas físicos y del colapso del vector de estados a la que hemos llegado es en cierto modo clásica y, de hecho, puede entenderse desde un punto de vista metafísico tradicional. Se sabe desde hace tiempo que el paso de lo posible a lo actual -o de la potencia a lo actual-

factor adecuado distinto de cero) y que no hay múltiples valores propios, la probabilidad de que una medición realice la posibilidad correspondiente a un vector propio particular está dada por el valor absoluto al cuadrado del peso correspondiente.

11. Cuando hablo de un vector de estado como "un conjunto de posibilidades", en realidad estoy identificando el vector de estado con el estado físico correspondiente. Estrictamente hablando, es por supuesto el sistema físico en un estado dado (¡y no su representación matemática!) lo que es "un conjunto o síntesis de posibilidades empíricamente realizables".

manifestación- implica invariablemente un acto de determinación: la elección de un resultado particular entre un conjunto de posibilidades. Además, la geometría euclidiana ejemplifica muy claramente este proceso, pero sólo mientras la disciplina se entienda a la manera antigua. Hay que recordar que antes de Descartes el continuo geométrico –el plano euclidiano, por ejemplo– se concebía como una entidad por derecho propio, y no simplemente como la totalidad de sus puntos. Según la visión precartesiana, en realidad no hay puntos en el plano, es decir, hasta que cobran existencia mediante una construcción geométrica. Concebido clásicamente, el avión como tal es vacío; en sí mismo constituye una especie de vacío, una mera potencia, en la que todavía nada se ha actualizado. Y luego se construye un punto o una recta, seguido de otros elementos geométricos, hasta obtener una figura determinada. Cabe señalar que estas determinaciones en realidad no pueden hacerse sobre bases racionales o sobre la base de alguna regla prescrita, circunstancia que tiende a desconcertar a la mente analítica. El acto determinante, además, es de hecho más que una mera elección, una mera selección de un elemento de un conjunto dado: pues trae a la existencia -por así decirlo, ex nihilo- algo que antes no existía como entidad real. . La construcción geométrica, concebida clásicamente, sugiere, pues, cosmogénesis. Se podría decir que imita o ejemplifica el propio acto creativo dentro del dominio matemático.

Volviendo a la mecánica cuántica y, en particular, al acto de medir, ahora se percibe que esto puede interpretarse en términos ontológicos tradicionales. La medida, por tanto, es la actualización de una determinada potencia. Ahora bien, la potencia en cuestión está representada por el vector de estado (no colapsado), que contiene en sí mismo, como hemos visto, todo el espectro de posibilidades que pueden realizarse mediante la medición. Medir es, pues, determinar; y esta determinación, además, se realiza en el plano corpóreo: en el estado de instrumento corpóreo, para ser exactos. Por debajo del nivel corporal estamos tratando con posibilidades o*potencias,*Considerando que la actualización de esos*potencias*se logra en el plano corpóreo. No sabemos cómo se produce esta transición.[12]

12. Volveremos a esta cuestión en los capítulos. 5 y 6.

De alguna manera se efectúa una determinación: la elección de un resultado particular entre un espectro de posibilidades. No sabemos si esto sucede por casualidad o por diseño; lo que sabemos es que de alguna manera la suerte está echada. Y este "echar la suerte" constituye efectivamente el acto decisivo: es así como el sistema físico cumple su papel de potencia en relación con el dominio corpóreo.

❖ ❖ ❖

Unas palabras ahora sobre el principio de superposición. Dirac fue quizás el primero en observar que el principio no tiene análogo en el ámbito clásico. Es cierto que las soluciones de una ecuación lineal homogénea pueden "superponerse": y este hecho subyace al análisis de Fourier, por ejemplo, de los sistemas vibratorios clásicos. Pero, como ha dejado claro Dirac, "la superposición que ocurre en la mecánica cuántica es de una naturaleza esencialmente diferente de cualquier que ocurra en la teoría clásica, como lo demuestra el hecho de que el principio de superposición cuántica exige indeterminación en los resultados de las observaciones para poder lograrlo". ser capaz de una interpretación física sensata.' 13 El principio de superposición, por tanto, se aplica necesariamente a un nivel de realidad en el que los valores de los observables aún no han sido fijados: al micromundo, es decir, que es un reino de potencia, un dominio subactual. El paso a la actualidad debe implicar, por tanto, una cierta "dessuperposición" - que no es otra que el colapso del vector estatal-.

No hay nada en el vector de estado en sí que pueda explicar o explicar este acto determinativo, aun cuando no hay nada en el plano euclidiano que nos permita, mediante algún tipo de regla, seleccionar un punto o una línea. Por otro lado, dado que el acto de medición implica una interacción con un segundo sistema, no sorprende que el primero, por sí solo, no sea suficiente para explicar el colapso del vector de estado. Lo que, sin embargo, ha desconcertado a los físicos es que incluso con el segundo sistema en funcionamiento, uno no está en mejor situación: porque sucede que el sistema combinado se encuentra nuevamente en una superposición de

13. *Los principios de la mecánica cuántica*(Oxford: Oxford University Press, 1958), pág.14.

estados propios para el observable dado. Pero por inquietante o paradójico que pueda resultar este hecho, siempre y cuando no se pueda distinguir entre los planos físico y corpóreo, es exactamente lo que uno esperaría una vez que se haya reconocido esta distinción fundamental. La cuestión es que la transición de la potencia a la realidad requiere invariablemente un acto creativo -un fiat creativo, se podría decir- que nada en el dominio de la potencia puede dar cuenta o explicar. Por lo tanto, nada dentro del plano físico podría provocar el colapso de un vector de estado, algo que puede resultar angustioso para quienes imaginan que no hay nada más allá de lo físico.

Es cierto que estas consideraciones no resuelven el llamado problema de medición; Sin embargo, dejan claro por qué los intentos actuales de encontrar una solución han fracasado. Dejaré para un capítulo posterior la cuestión de si la mecánica cuántica constituye o no una teoría "completa"; El punto que nos preocupa actualmente es que la mecánica cuántica podría, en el mejor de los casos, ser una teoría completa de la*físico*universo. Porque es lógico que mientras el orden corpóreo no se reduzca a lo físico, ni la mecánica cuántica ni ninguna otra teoría física podrían ser "completas" en un sentido ilimitado.ÉlPor lo tanto, sólo es de esperar que una teoría física bien formulada dé testimonio de esta limitación ontológica. Por eso no debe sorprendernos que la evolución de Schrodinger de los sistemas físicos presente "lagunas" que la propia mecánica cuántica no puede predecir, y que éstas aparezcan precisamente cuando se trata de la fatídica transición que nos saca del plano físico. Lejos de ser indicativo de imprecisión, este rasgo básico de la mecánica cuántica atestigua más bien su corrección y suficiencia. La aparente integridad de la física clásica, por otra parte, presagia el hecho de que no estamos tratando tanto con realidades físicas como con abstracciones convenientes. Después de todo, el provocativo precepto de Whitehead tiene sentido: "La exactitud es una falsificación".

Volviendo al principio de superposición, cabe señalar que en el caso de un sistema subcorpóreo ciertas superposiciones están evidentemente excluidas. En el caso de un instrumento científico, por ejemplo, un puntero no puede estar en dos posiciones distinguibles al mismo tiempo. Por tanto, para cualquier sistema subcorpóreo SX, se debe suponer

que sólo pueden superponerse estados que sean "perceptualmente indistinguibles". La cuestión, claramente, es que el objeto subcorpóreo se actualiza parcialmente mediante la presentación; y la actualización, como siempre, implica una determinación y, por tanto, una dessuperposición.

Es interesante que este reconocimiento resuelva de inmediato la llamada paradoja del gato de Schrodinger. Un solo átomo radiactivo, por así decirlo, se coloca cerca de un contador Geiger. Si el átomo se desintegra, se activa el contador, lo que a su vez desencadena una determinada cadena de acontecimientos que terminan con la muerte prematura del gato de Schrodinger. Ahora bien, dado que es cierto que el átomo se encuentra en una superposición de estados (desintegrado y no desintegrado), se razona que el contador Geiger y el gato deben estar igualmente en una superposición correspondiente. Y esto sería rigurosamente cierto, además, si el contador y el gato fueran sistemas cuánticos y nada más. Pero sucede que ambos sistemas son subcorpóreos, y que la superposición en cuestión es del tipo que se descarta: no es posible que un contador Geiger haga "clic" y no haga "clic", dentro de un intervalo de tiempo determinado, ni ¿Es posible que un gato esté vivo y muerto al final del experimento? Si el vector de estado (normalizado) del átomo es de la forma

$$0.6|\psi_1\rangle + 0.8|\psi_2\rangle,$$

por ejemplo, donde l'V1} y l'V2 } corresponden a los estados desintegrado y no desintegrado, respectivamente, esto no implica que el vector de estado del gato esté en una superposición correspondiente: sí
Esto no significa que el gato esté muerto en un 36% y vivo en un 64%. 14 Lo que sí significa es que tiene un 64% de posibilidades de sobrevivir, un hecho que, por supuesto, debe interpretarse en términos estadísticos.

No hay ningún misterio excepcional aquí. Tampoco es necesario (como algunos han sugerido) abrir la escotilla y echar un vistazo al desventurado gato para colapsar su vector de estado. El gato colapsa su propio vector de estado, se podría decir, por el hecho de que existe en el plano corpóreo.

14. Según la teoría cuántica, la probabilidad de que una medición colapse un vector de estado (normalizado) a un vector propio dado es igual al valor absoluto al cuadrado del coeficiente correspondiente. Se llega así a las probabilidades.36y
.64,correspondiente a los vectores

propiosl'lj/1)y)l'lj/2),respectivamente.

Como se señaló anteriormente, la frecuente afirmación de que el micromundo es indeterminista -o de algún modo vago y confuso- se basa en última instancia en una confusión entre los dominios físico y corpóreo. Los defensores del indeterminismo interpretan que el hecho, por ejemplo, de que la posición y el momento de un electrón no puedan determinarse con precisión significa que el electrón en sí está mal definido o sujeto a un comportamiento aleatorio. Se olvida por completo que la partícula, es decir, el sistema físico, es una cosa y sus observables otra. En otras palabras, se olvida que el electrón como tal no tiene posición ni momento, a menos, por supuesto, que se encuentre en un estado propio del observable en cuestión. Mientras tanto, sin embargo, esta supuesta partícula no es ni vaga ni confusa, ni tampoco salta de forma extraña y aleatoria. De hecho, de todas las cosas de las que tiene que ocuparse la física, no hay nada más claramente definido y cognoscible con mayor precisión que el electrón.

A este respecto cabe mencionar sus atributos denominados estáticos, como masa, carga y espín. A diferencia de los atributos dinámicos (que, como hemos visto, no son atributos en absoluto), estas cantidades sí pertenecen al electrón como tal. Y se pueden medir con una precisión estupenda. Mediciones recientes del momento magnético, por ejemplo, han conducido al valor 1,001 159 652 188 (en unidades apropiadas), con un posible error de 4 en el último dígito. 15 Como ha señalado Richard Feynman: "Si midiéramos la distancia de Los Ángeles a Nueva York con esta precisión, sería exacta al grosor de un cabello humano". 16 Además, este momento magnético también se puede calcular mediante electrodinámica cuántica; la respuesta aparece entonces como la suma de una serie infinita convergente, en la que los términos sucesivos disminuyen rápidamente pero se vuelven progresivamente más laboriosos de evaluar. Y mientras que los cálculos realizados hasta ahora no han podido igualar la precisión

15. Hans Dehmelt, 'Una única partícula atómica flotando eternamente en reposo en el espacio libre'.
escritura
*física,*T22(1988),p102.

16. *QED: La extraña teoría de la luz y la materia*(Princeton: Princeton University Press,1988),p7.

de los últimos experimentos, efectivamente han confirmado los dígitos i.001159 652. No conocemos ningún dominio de la física en el que el acuerdo entre teoría y experimento haya sido más espectacular.

El hecho es que la física cobra importancia en el micromundo, en el nivel de los átomos y las partículas subatómicas. Es aquí, precisamente, donde las cosas se definen claramente. Por ejemplo, ya no es necesario trabajar con parámetros macroscópicos toscos (como el radio de un planeta o la densidad de esto o aquello), sino que podemos trabajar con constantes fundamentales: la masa, la carga o el momento magnético del electrón. , Por ejemplo. Además, la transición de la mecánica clásica a la cuántica, lejos de complicar el formalismo, equivale a una enorme simplificación; porque, de hecho, el principio de superposición pone en juego lo que en realidad es la más manejable de todas las estructuras matemáticas: a saber, un espacio de Hilbert. Todo matemático comprende muy bien el lujo que es trabajar en un espacio lineal; de hecho, es encontrarse, matemáticamente hablando, en el mejor de los mundos posibles. En resumen, se podría decir que los dominios atómico y subatómico están "hechos por encargo" para el físico; es aquí donde uno encuentra las formas matemáticas fundamentales, libres, por así decirlo, de complejidades accidentales.

Pero ¿cuáles son estas "formas" fundamentales? Ninguno otro, uno es ulti más obligados a responder, que los arquetipos auténticos del micromundo y, por tanto, del universo físico en general. El objetivo principal o función primaria de la física -según esta visión inherentemente platónica- es ascender desde el dominio empírico al nivel de los arquetipos matemáticos. Son éstos los que constituyen sus verdaderos objetos, y no sus fugaces reflejos en el plano empírico.

Pero esta posición ontológica está obviamente en desacuerdo con el espíritu dominante de nuestro tiempo. Nos inclinamos a plantear la realidad en el plano empírico y a considerar las formas matemáticas -a las que Bohr se refiere en el contexto de la microfísica como la "descripción cuántica abstracta"- como poco más que medios artificiales para realizar un seguimiento de los datos empíricos.17 Para el nominalista , por tanto, es la matemática

17. Y, sin embargo, nadie parece estar satisfecho con este punto de vista. Como he señalado antes, a los físicos no les interesan principalmente los juegos positivistas, sino que conocerían las entidades trascendentes que se revelan en términos de dimensiones mensurables.

forma que de algún modo se aproxima a los datos empíricos, mientras que el platónico, por su parte, insiste en que la cuestión es justamente al revés: que son los datos empíricos los que reflejan -y en cierto sentido se aproximan- la forma matemática. Se trata de una cuestión de prioridad ontológica, de qué es lo primero: lo universal o lo particular, lo constante o lo efímero.

Sin embargo, en cualquier caso hay que admitir que una postura realista frente al micromundo puede sostenerse únicamente sobre una base platónica. Los átomos y las partículas subatómicas sólo pueden ser "reales" en la medida en que las formas matemáticas sean arquetipos auténticos. Como lo ha expresado Heisenberg: "La "cosa en sí" es para el físico atómico, si es que utiliza este concepto, finalmente una estructura matemática:18

Mientras tanto, parece que los hechos son definitivamente favorables a la afirmación platónica. ¿De qué otra manera se podría explicar el estupendo éxito de la física matemática?

❖ ❖ ❖

Entre las muchas y variadas filosofías de la física contemporáneas, la más cercana, con diferencia, a la posición expuesta en esta monografía es la filosofía de Werner Heisenberg. Ahora puede resultar interesante comparar las dos doctrinas.

Como es bien sabido, Heisenberg se consideraba miembro de la escuela de Copenhague. Sin embargo, en sus manos la llamada interpretación de Copenhague asumió una forma distintiva, cuyo rasgo más destacado reside en una visión realista del micromundo, basada en

---

efectos. En una palabra, son "realistas" de corazón. Lo único que sucede es que a menudo gravitan hacia premisas nominalistas que entran en conflicto con sus intuiciones realistas. Quizás también en este caso se pueda hablar de que la "buena física" es estropeada inconscientemente por la "mala filosofía".

18. *Física y Filosofía*(Nueva York: Harper & Row, 1962), p91. En otro lugar, Heinsenberg dice lo siguiente:'Sisi deseamos comparar los descubrimientos de la física de partículas contemporánea con cualquier filosofía anterior, sólo puede ser con la filosofía de Platón; porque las partículas de la física actual son representaciones de grupos de simetría, según nos dice la teoría cuántica, y en esa medida se parecen a los cuerpos simétricos de la visión platónica. Ver*Encuentros con Einstein*(Princeton: Princeton University Press,

1989), p83.

La concepción aristotélica de potencia. Según Heisenberg, existen dos dominios ontológicos: 'En los experimentos sobre eventos atómicos tenemos que ver con cosas y hechos, con fenómenos que son tan reales como cualquier fenómeno de la vida diaria. Pero los átomos o las partículas elementales mismas no son tan reales; Forman un mundo de potencialidades o posibilidades más que uno de cosas y

hechos.' 19 Para abordar estos dos dominios dispares, además, la física

La informática necesita dos lenguajes: el lenguaje de la física clásica, en primer lugar, que se aplica al mundo de los "hechos y las cosas" -y a los instrumentos científicos que forman parte de este mundo fáctico- y el lenguaje de la mecánica cuántica, que se aplica a la

dominio de las potencialidades. En el vector estatal, interpretado a la Born como Como una especie de onda de probabilidad, Heisenberg percibe así "una versión cuantitativa del antiguo concepto de "potentia" en la filosofía aristotélica".20 No se puede negar, por supuesto, que una onda de probabilidad involucra elementos subjetivos; El rasgo más destacado de la filosofía de Heisenberg, por otro lado, es su insistencia en que esta onda de probabilidad implica también un contenido "completamente objetivo" -en la forma de

declaraciones sobre*potencias,*precisamente. 21

La teoría cuántica, por tanto, se ocupa de dos dominios ontológicos; y la brecha se cubre mediante medición u observación:

> La transición de lo "posible" a lo "real" tiene lugar durante el acto de observación. Si queremos describir lo que sucede en el suceso atómico, debemos darnos cuenta de que la palabra "sucede" sólo puede aplicarse a la observación, no al estado de cosas entre dos observaciones. Se aplica al acto físico de observación, y podemos decir que la transición de lo "posible" a lo "real" tiene lugar tan pronto como la interacción del objeto con el dispositivo de medición, y por tanto con el resto del mundo, ha entrado en juego; no está relacionado con el acto de registro del resultado por parte del
>
> mente del observador. 22

19. Ibídem.,p186.
20. Ibídem.,p
    41.
21. Ibídem.,p
    ag53.

22. Ibídem.,p
ag55.

Hasta ahora, la posición de Heisenberg y la mía parecen muy cercanas, hasta el punto de ser indistinguibles. ¿No es el "mundo de potencias" de Heisenberg equivalente al micromundo tal como lo he concebido? ¿Y su reino de "cosas y hechos" a lo que yo llamo el mundo corpóreo? A primera vista, éste parece ser el caso. Sin embargo, tras un examen más detenido, surge una diferencia importante. El quid de la cuestión es este: en la filosofía de Heisenberg no encontramos una distinción clara entre el universo físico en una escala macroscópica y el mundo corpóreo, propiamente dicho. En consecuencia, la distinción entre el mundo de las potencias y el mundo real debe entenderse únicamente en términos de tamaño o escala, como si el paso de la potencia a la realidad pudiera efectuarse simplemente uniendo un número suficiente de átomos. Consideremos, por ejemplo, la siguiente afirmación: "La ontología del materialismo se basaba en la ilusión de que el tipo de existencia, la "actualidad" directa del mundo que nos rodea, puede extrapolarse al rango atómico. Sin embargo, esta extrapolación es imposible.' 23 No podemos dejar de estar de acuerdo en que "esta extrapolación es imposible"; pero la cuestión es si la física alcanza "la "actualidad" directa del mundo que nos rodea" incluso en una escala macroscópica. En cualquier caso, mi posición es totalmente clara a este respecto. Sostengo que el descenso de la actualidad a la potencia se produce ya a nivel macroscópico: tiene lugar en el momento en que pasamos de un objeto corpóreo X a su objeto subcorpóreo asociado SX. Además, el hecho de que SX pueda describirse (hasta cierto punto) en términos de la física clásica no altera el caso, ni tampoco el hecho de que estos términos se deriven de alguna manera de la experiencia ordinaria.

Mi punto, entonces, es el siguiente: los objetos macroscópicos de la física clásica son tan "potenciales" como lo son los átomos y las partículas subatómicas. Me tomo en serio la afirmación del físico atómico de que estos objetos de gran escala en realidad están compuestos de átomos. Sin embargo, el hecho de que SX sea reducible a átomos no implica que X sea así reducible; porque de hecho, X y SX no están situados en el mismo plano lógico. Éste es precisamente el punto crucial, para decirlo una vez más: SX existe como una potencia, mientras que X existe como una "cosa o moda pasajera".

23. Ibídem.,p145.

Heisenberg, por otra parte, parece identificar de hecho a SX y X. Además, de acuerdo con esta identificación, concibe el "acto físico de observación" realizado sobre un microsistema como una especie de traducción del microestado a un macroestado. , como ocurre en un contador Geiger o en una cámara de burbujas. Ahora bien, según mi punto de vista, este proceso en sí mismo no nos saca del dominio potencial: el macroestado de un contador Geiger, por ejemplo, concebido como un sistema físico, todavía está situado en el plano físico. Por lo tanto, el paso de la potencia a la realidad se efectúa no simplemente por el proceso en cuestión, sino por el hecho de que el contador Geiger en sí mismo es "más" que un sistema físico. En realidad, no es un proceso físico -un "acto físico de observación"- lo que actualiza el microestado, sino el paso de SX a X (del potencial al contador Gei ger real, por así decirlo).

Heisenberg, por su parte, sostiene (como hemos visto) que la transición de lo "posible" a lo "actual" se efectúa simplemente mediante el "acto físico de observación". Sin embargo, se ve obligado a concluir que el acto físico no puede explicar el llamado colapso del vector estatal; para ello necesita incorporar "la mente del observador" en escena:

> El cambio discontinuo en la función de probabilidad se produce con el acto de registro; porque es el cambio discontinuo de nuestro conocimiento en el instante del registro el que tiene su imagen en el cambio discontinuo de la función de probabilidad.24

Por mi parte, me cuesta entender cómo la onda de probabilidad puede tener un contenido "completamente objetivo" si depende de si el resultado de un experimento ha sido "registrado" mentalmente o no. Si la posición de un puntero, digamos, presagia un cierto estado objetivo de cosas después de haber sido "leído", ¿por qué no antes? Parece que estamos de vuelta en el reino místico del gato de Schrodinger, donde los vectores de estado colapsan al abrirse una escotilla. Sin embargo, mientras no se distinga categóricamente entre un sistema físico, por muy macroscópico que sea, y un objeto corpóreo, en realidad no existe ninguna distinción.

24. Ibídem., pag55.

salida a este dilema. De hecho, es un teorema de la mecánica cuántica que los sistemas físicos no causan el colapso del vector de estado. Si se supone, pues, que existen sistemas físicos y actos psíquicos -y nada más-, se sigue que el colapso en cuestión debe ser causado por un acto psíquico.

Sin embargo, aunque parezca extraño, el propio Heisenberg no parece estar satisfecho con la dicotomía entre "sistemas físicos y actos psíquicos". Una y otra vez arremete contra "la partición cartesiana"; una "simplificación excesiva peligrosa", la llama.25 Y en ciertos momentos casi parece reconocer el dominio corpóreo. "Nuestras percepciones", escribe en uno de estos pasajes no cartesianos,

> no son principalmente conjuntos de colores y sonidos; lo que percibimos ya es percibido como algo, poniéndose aquí el acento en la palabra "cosa", y por lo tanto es dudoso que obtengamos algo al tomar las percepciones en lugar de las cosas como los elementos últimos de la realidad.26

En otras palabras, lo que percibimos puede que no sean simplemente "haces de colores", sino "cosas": objetos corpóreos, como decimos. Sin embargo, Heisenberg parece no haberse dado cuenta de que la alternativa cartesiana -es decir, la visión bifurcacionista de la percepción- no sólo tiene una ventaja "dudosa", sino que, de hecho, es insostenible. Al parecer, tampoco supuso que una visión no bifurcacionista de la percepción, llevada hasta su conclusión lógica, podría liberar su filosofía de su premisa más embarazosa: la noción de que el colapso del vector estatal es el resultado del "registro".

La filosofía de Heisenberg, entonces, y la mía propia no coinciden. Sin duda, hay un elemento de misterio en ambos: en uno es el enigma del colapso del vector de estado (del gato de Schrodinger, como se podría decir) y en el otro es ante todo y ante todo el milagro del dominio corpóreo (de este mundo visible y tangible y, por tanto, del acto creativo mismo.

25. Ibídem.,p 105.
26. Ibídem., pag84.

IV

MATE RIA CUANTIFICAR SIGNATA

SE HABLA DE muchos objetos físicos diferentes: de estrellas y galaxias, de campos electromagnéticos y de radiaciones y, en definitiva, de moléculas, átomos y partículas fundamentales. Debemos recordar, sin embargo, que cada tipo de objeto se concibe en relación con un procedimiento de observación correspondiente y que, en consecuencia, los objetos físicos no son tanto "cosas en sí mismos", sino cosas en relación con modos específicos de investigación empírica. Como ha señalado Heisenberg, la física no se ocupa simplemente de la Naturaleza, sino de lo que él llama "nuestras relaciones con la Naturaleza". Podría decirse de esta manera: es el propio experimentador quien "interroga lo que Heisenberg llama Naturaleza2: la naturaleza". realidad externa, por así decirlo; por el tipo y disposición de su instrumentación formula una pregunta y, por supuesto, es la pregunta la que provoca la respuesta, la respuesta. La diversidad de objetos físicos -de las respuestas que da la Naturaleza- está provocada, por tanto, por la diversidad de las preguntas que nosotros mismos hemos planteado. Pero no hay razón para suponer que esta diversidad de "preguntas y" respuestas se traslade a la realidad, a la Naturaleza como tal. Por lo tanto, en contraste con lo que hemos denominado el universo físico, la Naturaleza de la que hablamos no debe concebirse como un dominio o conjunto formado por objetos físicos. Sin duda, los objetos físicos existen; La cuestión, sin embargo, es que estos objetos participan en cierto modo de la relatividad y deben verse, no como tantas entidades independientes, sino como diversas manifestaciones de una realidad única e ininterrumpida.

1. *Das Naturbild der heutigen Physik*(Hamburgo: Rowohlt,1955), pág.21.
2. Un término que resulta un tanto engañoso, como pronto veremos.

Cabe señalar, además, que esta posición ontológica no es simplemente una cuestión de especulación filosófica, sino que prácticamente nos la imponen los descubrimientos de la física y, más especialmente, los resultados de la teoría cuántica, siempre y cuando, por supuesto, adoptaríamos una postura realista. Como ha señalado David Bohm, "Uno es conducido a una nueva noción de totalidad ininterrumpida que niega la idea clásica de la analizabilidad del mundo en partes que existen separada e independientemente". 3 Pero claramente, la "integridad ininterrumpida" a la que alude Bohm equivale a la "Naturaleza" de Heisenberg: a la realidad trascendente, podría decirse, que se manifiesta o revela parcialmente en forma de objetos físicos. Estos últimos, por tanto, no existen "por sí mismos", sino en virtud de la realidad de la que constituyen una expresión parcial. Y mientras que estas manifestaciones son "separadas" y múltiples, la realidad misma permanece "inquebrantable".

A la luz de estas consideraciones, ahora parece que el llamado universo físico -del que nos hemos ocupado en los capítulos 2 y 3- no está solo, sino que apunta más allá de sí mismo, por así decirlo, a un nivel más profundo de realidad (que hemos designado provisionalmente con el término 'Naturaleza'). En el curso de nuestras reflexiones anteriores nos hemos visto llevados a distinguir entre los planos físico y corpóreo; y ahora, al parecer, ha aparecido a la vista un tercer estrato ontológico, que de hecho parece ser más fundamental, más básico que los dos planos antes mencionados. ¿Cuál es entonces la naturaleza de este tercer dominio?

❖ ❖ ❖

Hemos hablado de la realidad profunda como de una "integridad inquebrantable"; pero ¿qué significa esto exactamente? ¿Cómo se puede concebir un ámbito externo que en realidad no esté formado por "partes separadas e independientes"? Para empezar, nos corresponde considerar si la realidad en cuestión todavía está sujeta a la condición espacio-temporal. Por supuesto, nos resultaría difícil concebir una Naturaleza que no esté extendida en el espacio y el tiempo; pero entonces, ¿no es esto quizás lo que exige la noción de totalidad ininterrumpida?

3. D. Bohm y B. Hiley, 'Sobre la comprensión intuitiva de la no localidad implícita en la teoría cuántica;*Fundamentos de la Física,*vol. 5 (1975), pág.96.

Examinemos el asunto. En la época newtoniana, como sabemos, se pensaba que el espacio y el tiempo "existían" independientemente de las entidades materiales. El espacio, en particular, fue concebido como una especie de receptáculo absoluto en el que de alguna manera podían introducirse trozos de materia y en el que, así colocados, podían moverse libremente. Sin embargo, con la llegada de la relatividad einsteniana, el panorama ha cambiado. Según la teoría general, el continuo espacio-tiempo tiene una estructura geométrica que afecta y es afectada por la distribución de la materia que se dice que contiene. Por lo tanto, el espacio y el tiempo resultan estar indisolublemente conectados con las entidades y acontecimientos materiales que componen el universo físico; en resumen, el contenido y el contenedor han perdido su estatus independiente, y ahora parece que el espacio, el tiempo y la materia, lejos de ser principios independientes, no constituyen más que aspectos distinguibles de una misma realidad. Se sigue, además, que la realidad como tal no es espacio, tiempo ni materia, ni tampoco puede estar contenida en el espacio o el tiempo; porque, en última instancia, es la realidad misma la que en cierto sentido "contiene" el espacio-tiempo, incluso como se puede decir que una causa "contiene" sus efectos.

Ahora bien, es cierto que la física como tal es necesariamente incapaz de reconocer sus propios objetos como efectos o manifestaciones de una realidad que, en principio, está fuera de su alcance. O dicho de otro modo: nada en el plano técnico obliga al físico a postular tal realidad. Y, sin embargo, también se puede decir que los descubrimientos auténticos de la física apuntan en esa dirección. Como lo ha expresado Henry Stapp, "Todo lo que sabemos sobre la Naturaleza está de acuerdo con la idea de que el proceso fundamental de la Naturaleza se encuentra fuera del espacio-tiempo... pero genera eventos que pueden ubicarse en el espacio-tiempo". 4

¿Cuáles son entonces algunos de los hallazgos que apuntan más allá del continuo espacio-tiempo? Tal vez sea suficiente mencionar sólo uno, el más sorprendente de todos, creo: a saber, el teorema de interconexión de Bell. Los fotones A y B, digamos, viajan en direcciones opuestas (¡a la velocidad de la luz!) y, sin embargo, una observación realizada sobre el fotón A parece afectar instantáneamente a B. ¿Qué podemos hacer con esto? Ahora bien, según la ontología clásica de 'separados e independientemente'

4. 'Son¿Se necesitan conexiones superluminales?',*Nuevo Cimento,*vol.Años 40 (1977), p191.

partes existentes: uno está evidentemente obligado a postular algún tipo de transmisión superluminal de influencia de A a B. Este postulado problemático, sin embargo, se vuelve superfluo en el momento en que reconocemos los fotones A y B como manifestaciones de una única realidad subyacente; porque, de hecho, donde hay unidad o totalidad inquebrantable: no hay necesidad de comunicarse, de transmitir influencia a través del espacio y el tiempo. Así pues, parece que la verdadera esencia del teorema de Bell, o de los fenómenos EPR en general, es que las partículas gemelas implicadas en estos fenómenos no son, de hecho, "partes separadas y que existen independientemente".

Sin duda, están "separados" en la medida en que están contenidos en diferentes regiones del espacio-tiempo; y es cierto que, en la medida en que somos capaces de observar cualquiera de las partículas, están contenidas en ellas. Pero entonces, todo apunta a que una partícula no puede conocerse plenamente por medios empíricos; y si es cierto -como tenemos todo el derecho a suponer- que 'ahora sabemos en parte; entonces resulta fácilmente concebible que una partícula pueda trascender su lugar manifestado y, por tanto, también su identidad fenoménica. En una palabra, puede haber más en la partícula de lo que parece al ojo científico y, por la misma razón, más de lo que se puede hacer para encajar en un continuo de cuatro dimensiones. Debo dejar claro, sin embargo, que lo que está en juego aquí no es la dimensionalidad de la variedad contenedora, sino el carácter absoluto o relatividad de la contención misma. Mi punto, por tanto, no es que la partícula "se proyecta hacia otra dimensión", sino que, además de su aspecto empírico, tiene una naturaleza que no está sujeta a "contención" en absoluto.

Élse reduce a esto: la naturaleza, aunque no espacio-temporal por derecho propio, se presenta como espacio-temporal bajo observación. Pero esto no debe entenderse en un sentido kantiano, sino realista. La cuestión no es que el observador humano superponga condiciones espacio-temporales a una realidad nouménica, sino que las cosas y relaciones que observamos -'materia, espacio y tiempo'; si deseas manifestar o actualizar cierta potencia preexistente, un potencial que pertenece a la Naturaleza como tal. Una vez más, es el físico quien 'plantea la cuestión'; pero la naturaleza misma es la que da la respuesta. Y esa respuesta -que quede claro- es indicativa, no sólo de nuestra constitución humana o de la disposición de nuestros instrumentos, sino ante todo de la realidad misma. En el

En definitiva, lo que se nos presenta a través de las categorías de espacio y tiempo no es otra cosa que la realidad que, por derecho propio, no está sujeta a estas categorías. Y permítanme reiterar, en aras de la máxima claridad, que las condiciones del espacio y del tiempo no se imponen simplemente, al estilo kantiano, desde el exterior, sino que están potencialmente contenidas en la realidad como tal, del mismo modo que los puntos y las líneas están potencialmente contenidos en la realidad como tal. contenida en el plano euclidiano.

¿Qué es entonces un objeto físico? Ahora estamos obligados a admitir nada más ni menos que una manifestación particular de la realidad total. Como objeto físico, sin duda, existe en el espacio y el tiempo, y exhibe una cierta identidad fenoménica; y sin embargo, en sí mismo, trasciende estos límites y esa aparente identidad. La noción de multiplicidad de partículas se aplica así "cerca de la superficie" -en respuesta a las diferentes "preguntas" que planteamos, o somos capaces de plantear-, mientras que la "integridad ininterrumpida" reina en las profundidades insondables.

Por supuesto, siempre es posible aferrarse a la creencia generalizada de que la realidad coincide con el continuo espacio-tiempo y sus múltiples contenidos; pero parece que esta reducción habitual de lo real a lo manifestado se está volviendo cada vez más forzada y precaria a la luz de los avances científicos en curso. La física actual milita contra esta constricción.*Weltanschauung;*'Todo lo que sabemos sobre la Naturaleza; dice Stapp, "está de acuerdo con la idea de que el proceso fundamental de la Naturaleza se encuentra fuera del espacio-tiempo...: Y agreguemos que ningún resultado, ciertamente, sugiere más esta nueva idea que el teorema de interconexión de Bell". De hecho, bien podría decirse que el teorema de Bell puede ser lo más cercano que la física pueda llegar al reconocimiento formal de la ontología revisada que he intentado delinear: la visión, a saber, de que no sólo existe un continuo espacio-tiempo que contiene diversas entidades, sino también -en un nivel más fundamental- una potencia aún indiferenciada, que no está ni en el espacio ni en el tiempo, y sobre la cual no se puede afirmar nada específico. 'La realidad es no local'; eso, quizás, es lo más cerca que podemos llegar.

❖ ❖ ❖

Pero aunque no hay nada en la naturaleza (en otras palabras, ninguna "cosa") que podamos conocer, el hecho es que podemos saber y sabemos.

La naturaleza a través del universo espacio-temporal. Y, después de todo, de eso se trata la física: el físico conocería "la estructura de la Naturaleza"; lo único que ocurre es que estamos obligados a ver esa "estructura" indirectamente, es decir, a través de sus manifestaciones físicas.

Pero también hay que señalar que incluso las estructuras más familiares de tipo geométrico sólo pueden conocerse, del mismo modo, por medios indirectos. ¿Cómo, por ejemplo, se describe o axiomatiza la estructura del plano euclidiano? Como todo matemático sabe,

Esto se puede hacer de varias maneras: a la Euclides, por ejemplo, en términos de las propiedades de ciertas figuras construidas compuestas de puntos, líneas y círculos; o a la Felix Klein, en términos de las invariantes de un grupo de transformación continua. Sin embargo, la circunstancia misma de que estas diversas caracterizaciones sean sorprendentemente diferentes ya atestigua el hecho de que nos estamos acercando a la estructura del plano euclidiano por medio de una construcción auxiliar, una estructura secundaria de algún tipo, que presumiblemente es más concreta y accesible. Se podría decir que la estructura primaria se revela a través de la secundaria. En el enfoque clásico, por ejemplo, uno mira las figuras construidas, pero no directamente el plano euclidiano. En efecto, en el avión como tal no hay nada que ver.

Sustituyamos ahora el plano euclidiano por naturaleza y las figuras de la geometría clásica por sistemas físicos, y podremos vislumbrar de qué se trata la física. Porque a través de la analogía geométrica se puede comprender cómo la estructura de la Naturaleza, aunque esté oculta, puede manifestarse en las leyes fundamentales de la física: en las leyes que se aplican siempre y en todas partes a los sistemas físicos para al que se refieren. Un ejemplo espléndido serían las ecuaciones de Maxwell, que se aplican a todo campo electromagnético, del mismo modo que el teorema de Pitágoras, digamos, se aplica a todo triángulo rectángulo. La principal diferencia, sin embargo, entre la geometría euclidiana y la física en su estado actual es que esta última aún no dispone de un único conjunto coherente de principios que abarquen todo el terreno. Es como si el físico tuviera un conjunto de leyes para los "triángulos" y otro para los "círculos", pero ninguna ley única que se aplicara tanto a los "círculos" como a los "triángulos" y, al menos en principio, a todos los demás elementos construibles. cifras. Se podría decir que la física, en su estado actual, está familiarizada con los "teoremas", pero aún no ha descubierto un solo conjunto de axiomas a partir del cual se puedan basar todos los demás.

en principio se puede derivar. Y este es, por supuesto, el objetivo último de la búsqueda del físico: está buscando una única ley básica, en la forma de una teoría cuántica de campos relativista unificada de algún tipo, que presumiblemente describa correctamente todos los sistemas físicos concebibles. Y parece que efectivamente puede estar acercándose a la realización de este objetivo. En cualquier caso, tal avance lograría para la física lo que la axiomatización del plano euclidiano ha logrado para la geometría clásica: nos daría una representación fiel, podría decirse, de la estructura primaria.

Podría plantearse la objeción de que las leyes de la física tienen que ver -no con la Naturaleza como tal- sino con "nuestras relaciones con la Naturaleza"; como ha dicho Heisenberg. La cuestión, sin embargo, es que tienen que ver con ambos, del mismo modo que el teorema de Pitágoras, por ejemplo, tiene que ver no sólo con una cierta clase de figuras construidas, sino también con la estructura del plano euclidiano. ¿Por qué un hecho debería excluir al otro? Es cierto que Eddington ha afirmado que las leyes fundamentales de la física -incluidas incluso las constantes adimensionales de la Naturaleza- pueden deducirse a priori del modus operandi mediante el cual se pueden poner a prueba las leyes en cuestión. Del examen de la red del pescador, dice Eddington, se pueden sacar ciertas conclusiones sobre la naturaleza del pez que se captura con esa red; el pez debe ser más grande, por ejemplo, que una determinada longitud, etc. Pero por fascinante que pueda ser esta filosofía de la física, sucede que nadie ha tenido éxito todavía en esta empresa kantiana, y pocos físicos actuales, si es que hay alguno, seguirían a Eddington en sus afirmaciones radicalmente subjetivistas. Al fin y al cabo, parece que las leyes de la física nos hablan no sólo de "nuestras relaciones con la Naturaleza"; pero también, en definitiva, de la Naturaleza como tal.

❖ ❖ ❖

Esa Naturaleza, sin embargo, resulta muy recóndita y, de hecho, metafísica. Ahora bien, sin duda no es fácil concebir realidades metafísicas y, por supuesto, es imposible representar o imaginar cosas de ese tipo. Sin embargo, como bien sabe el físico, podemos concebir cosas inimaginables y, además, podemos hacerlo con la máxima claridad y exactitud. Por lo tanto, de ninguna manera

Esto significa que el conocimiento humano se limita al orden sensible, como han afirmado algunos escépticos. Y si es posible concebir lo físico (que, como hemos visto, queda fuera del dominio sensible), ¿por qué no también lo metafísico: las cosas que trascienden los límites del espacio y el tiempo? Así, a pesar de los recelos de los filósofos occidentales, empezando por Locke, Hume y Kant, parece que la metafísica, así entendida, no es, después de todo, una empresa vana o inviable.

Sin embargo, como siempre, necesitamos el apoyo de imágenes sensibles, de una metáfora apropiada (<metapherein, 'traspasar') o de un paradigma corpóreo.

¿Cuál es entonces, preguntémonos, una metáfora adecuada para el concepto de Naturaleza al que hemos llegado? ¿Cuál es, de hecho, el paradigma que ha estado acechando todo este tiempo en el fondo de nuestras mentes? No es otro, decimos, que lo hilomorfo o escultórico, en el que en cierto sentido se basa la metafísica de Aristóteles. Esto puede ser evidente o no, pero en cualquier caso merece ser explicado con considerable cuidado.

Pensemos en un trozo de madera (hyle en griego) o de mármol que recibe el forma (morfe) de Apolo o Sócrates. La cosa concreta -la estatua- se compone, pues, en cierto sentido, de dos factores: hyle plus morphe. Sin embargo, es evidente que la morfe no tiene existencia concreta propia, aparte de la madera o el mármol en el que ha sido tallada. ¿Pero qué pasa con hyle? Siempre que tomemos el término en sentido literal, por supuesto tiene existencia, debido al hecho de que la pieza de madera original tiene una morfea propia. Hyle, en el sentido aristotélico, por otra parte, es simplemente el receptor de morfe y nada más. En consecuencia, la hyle aristotélica se concibe como un sustrato puro que se encuentra, en sentido figurado, por debajo del nivel de la existencia concreta. Por tanto, es literalmente una no entidad; y sin embargo, como el cero de las matemáticas, esta "nada" -por extraño que parezca- juega un papel crucial. Es en virtud de este papel, además, que podemos concebir la hyle aristotélica en primer lugar; porque en sí mismo, como he dicho, no es "nada". ¿Qué hace entonces hyle? si se puede decir así. Recibe morfe, recibe contenido: recibe el ser, de hecho; y esto puede hacerlo precisamente porque, en sí mismo, es amorfo, vacío y, de hecho, inexistente.

morfe, por su parte, tampoco tiene existencia concreta, como ya se señaló; existe, por así decirlo, junto con hyle, del mismo modo que la forma de Apolo existe junto con su soporte marmóreo. Morphe, sin embargo, no es simplemente "forma, silueta o figura" en el sentido más o menos visual de estos términos; no debemos llevar demasiado lejos la metáfora escultórica. La cuestión es que la morfe de una entidad existente es precisamente su aspecto cognoscible. En resumen, una cosa es inteligible en virtud de su morfe, pero existente por su hyle. No digo 'es hyle'; es más, porque hyle, estrictamente hablando, no pertenece a la cosa, como tampoco se podría decir que el océano pertenece a una ola particular. Morphe, por otra parte, sí pertenece a la cosa: pues el morphe de una entidad es verdaderamente su esencia (<esse, 'ser').5 Es lo que conocemos y podemos saber; y por tanto es el "qué" o quididad de la cosa. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que la entidad existente no coincide simplemente con su quididad: tiene también un aspecto hílico, que sigue siendo ininteligible, un hecho de suma importancia, sin duda.

Cabe señalar que con el resurgimiento de la filosofía aristotélica durante la era escolástica, el término griego "morphe" fue naturalmente reemplazado por el latín "forma", y hyle se convirtió en materia. Y, además, mediante cierta evolución, la "materia" escolástica acabó transformándose en la "materia" del físico newtoniano cuyo significado exacto, sin embargo, está lejos de estar claro. Ontológicamente hablando, este resto de la era newtoniana constituye, en cualquier caso, un híbrido confuso de materia y forma en el sentido auténtico. Y a diferencia de la "masa", con la que a veces se confunde, en realidad no desempeña ningún papel riguroso en la economía del pensamiento científico.

Lo más cercano a la materia auténtica a la que se refería la "materia" newtoniana

destinado a alcanzar, era sin duda el desafortunado éter, cuya función prevista era sustentar el campo electromagnético. Sin embargo, a pesar de su perfecta homogeneidad, extrema atenuación y otras características "etéreas", ese éter fue concebido como una "sustancia" en el sentido contemporáneo. La materia auténtica, por otra parte, es una

5. La distinción tomista entre esencia y forma no tiene ninguna relación particular con nuestras consideraciones actuales y, por lo tanto, puede ser suprimida.

cosa de un tipo muy diferente. En primer lugar, hay que entender que la materia no ocupa espacio, como resulta evidente en el momento en que recordamos que el espacio tiene que ver con relaciones geométricas entre entidades existentes. Ontológicamente hablando, por tanto, el espacio es posterior a la materia; Y lo mismo, dicho sea de paso, se aplica al tiempo. Y, sin embargo, también podría decirse que el espacio, concebido como receptáculo vacío o contenedor universal, constituye una especie de símbolo natural o imagen cósmica del sustrato material. La materia auténtica, pues, lejos de caracterizarse por la extensión como la "materia newtoniana", está, por el contrario, aliada del contenedor, del receptáculo puro.

Llegados a este punto, tal vez sean necesarias unas pocas palabras sobre la otrora ilustre filosofía conocida como materialismo, que pretende explicar todas las cosas en términos de la "materia" newtoniana únicamente. Ahora bien, en primer lugar, es evidente, a la luz de lo dicho anteriormente, que la existencia corporal implica necesariamente dos principios: "Se necesitan dos para existir: si se quiere". Sin embargo, si uno intenta reducir las cosas corpóreas a un principio único, la "materia" newtoniana resulta ser una elección especialmente pobre. Porque, aparte de la inherente vaguedad de esta noción y de su inutilidad en un plano científico riguroso, el concepto sigue estando predominantemente del lado de la materia. Representa la existencia despojada, por así decirlo, de la mayor parte de su contenido formal y constituye, por tanto, una especie de cuasi-materia o cuasi-sustancia. El materialista, por lo tanto, mira hacia la materia en su búsqueda de un principio único en términos del cual todo pueda ser entendido, una elección desafortunada, ya que la materia no sólo es cien por ciento ininteligible por derecho propio, sino que presta a todas las cosas su aspecto. de ininteligibilidad, por así decirlo. Por lo tanto, el cambio de una interpretación materialista a una estructuralista de la física, que se produjo a raíz de la relatividad einsteniana, representa sin duda un giro en la dirección correcta: de la materia al aspecto inteligible de la realidad.

Pero el hecho de que las cosas sean inteligibles en virtud de su
El aspecto formal no implica que puedan concebirse adecuadamente pura y simplemente como formas, o como estructura en el sentido físico. Así, si el materialismo resulta insostenible, en última instancia también lo será el estructuralismo; porque de hecho, en definitiva, sostengo, no puede haber ontología viable que no invoque, de una manera u otra,

El paradigma hilomorfo. Se puede decir que la idea misma de existencia corporal exige dos principios complementarios, que no pueden sino responder a las concepciones gemelas de materia y forma. Y esto explica por qué se encuentran nociones correspondientes en las principales ontologías, desde China y la India hasta Grecia y la antigua Palestina.6

❖ ❖ ❖

Para percibir la necesidad de la concepción hilomorfa basta reflexionar sobre el enigma epistemológico: el problema del conocimiento. Hemos sostenido que el dominio corpóreo se conoce a través de la percepción sensorial y el físico a través del modus operandi de la observación científica; pero ¿qué significa "saber"? He indicado que el proceso de conocer culmina invariablemente en un acto intelectivo, pero ¿cuál es la naturaleza de este acto? ¿En qué consiste?

Como señaló Aristóteles hace mucho tiempo, el acto de conocer consiste en una cierta unión del intelecto con su objeto. Pero ¿cómo puede unirse el entendimiento con la cosa exterior? Claramente, tal unión sólo puede concebirse en términos de una tercera entidad o elemento común, que objeto y sujeto pueden poseer ambos, cada uno en su propio modo apropiado; y debe ser precisamente este tertium quid lo que hace cognoscible el objeto.

¡Pero sólo en parte! Porque, después de todo, no es el objeto externo (cerradura, culata y cañón) lo que "pasa al sujeto", sino sólo lo que he denominado el tertium quid. Este "tercer factor", además, responde a

6. Sin duda, esto es mucho más evidente en el caso de China, India y Grecia que en el caso de la "antigua Palestina". Y, sin embargo, no se puede negar que la concepción hilomórfica es igualmente bíblica. Meister Eckhart, por ejemplo, nos ha informado de este hecho: "Primero es necesario saber que la materia y la forma no son dos tipos de entidades existentes, sino dos principios de los seres creados. Éste es el significado de las palabras: "En el principio creó Dios el cielo y la tierra", es decir, la forma y la materia, dos principios de las cosas. Ver*Liber parabolarum Génesis,*1.28.El lector interesado puede encontrar este texto en la magnífica edición Kohlhammer de las obras de Meister Eckhart, que incluye una traducción al latín y al alemán. Ver*Maestro Eckhart: Die lateinischen Werke,*vol.1(Stuttgart: Kohlhammer,1937-65).

la pregunta '¿Qué?': es lo que sabemos. Y, sin embargo, no coincide simplemente con el objeto como tal, pues, como acabamos de señalar, este último es forzosamente "más" que el tertium quid.

Ahora bien, el tertium quid, sin duda, no es otro que la morfe aristotélica, la forma o quididad de la cosa existente. Pero en la medida en que la cosa no coincida con su morfe, es necesario postular un segundo principio (una X, si se quiere) que distinga a los dos, o compense la diferencia, por así decirlo. Y esta X, que es forzosamente incognoscible y no tiene quiddity, es evidentemente equivalente a materia. Se llega así, a través de consideraciones epistemológicas de tipo bastante simple, a las concepciones básicas del paradigma hilomórfico.

Vale la pena señalar que el*morfeotercio libra*necesidades
igualmente ser existenciado subjetivamente, es decir, en un plano mental. Necesita, por así decirlo, estar revestido de imágenes mentales y, por tanto, por así decirlo, "encarnado". El proceso humano de conocimiento es complejo, como hemos tenido amplias ocasiones de señalar. Pero, sin embargo, se consuma en un solo acto intelectivo que es perfectamente simple y por eso mismo escapa al análisis. Y es aquí -en este acto enigmático- donde se produce la unión cognitiva: que sujeto y objeto se unen.

❖ ❖ ❖

Mencioné al comienzo de este interludio ontológico que la idea de Naturaleza a la que habíamos llegado anteriormente se relaciona con el paradigma hilomórfico. Obviamente, a uno le gustaría concebir esa Naturaleza como una materia; pero al estar dotado, como hemos visto, de una forma propia, no es materia en un sentido absoluto, no es materia prima, en el lenguaje escolástico. Sin embargo, constituye evidentemente una materia secunda en relación con el mundo espacio-temporal, precisamente en el mismo sentido en que el plano euclidiano puede denominarse materia secunda en relación con el universo de las figuras construidas. Como materia, por lo tanto, se encuentra "debajo" del dominio espacio-temporal en un sentido ontológico, es decir, como portador o receptáculo de su contenido formal. Y, sin embargo, posee una forma que transmite al universo en general como ley universal o principio de orden; como el mínimo común denominador, por lo que

MATERIA QUANTITATE SIGNATA 89

Hablamos de la suma total de formas manifestadas. La naturaleza, por tanto, resulta ser una materia quantitate signata (una materia 'marcada por la cantidad'), si se nos permite adoptar esta excelente frase tomista.7

Finalmente, cabe señalar que el paradigma euclidiano o geométrico en términos del cual antes había tratado de explicar la lógica de la física es, de hecho, equivalente al hilomorfo. De hecho, constituye la forma o versión del paradigma hilomórfico que se relaciona más directamente con el modus operandi de la física. Y como tal resulta indispensable. 8

❖ ❖ ❖

Será interesante, a la luz de estas consideraciones, reflexionar sobre la tradicional distinción entre "cantidades" y "cualidades" tal como se concibe en relación con el dominio corpóreo. ¿Cuál es (si es que hay alguno) el significado ontológico de esta supuesta complementariedad? Cabe señalar, en primer lugar, que en la medida en que las cantidades en cuestión pertenecen al nivel corpóreo, deben ser de algún modo perceptibles. O para decirlo más precisamente: debe ser posible observar o determinar estas cantidades sin el uso de instrumentos científicos. Ahora bien, sucede que hay dos modos de cantidad: "número" en el sentido de cardinalidad, y "extensión". Lo primero, evidentemente, se determina contando o, en el caso de conjuntos suficientemente pequeños, mediante una especie de percepción directa, al parecer. La extensión, por otra parte, tiene que ver con lo "grande" y lo "pequeño", lo "recto" y lo "curvo", y una

7. Por supuesto, no estoy afirmando que el significado que le he asignado a esta frase coincida con su connotación tomista original. ¡Obviamente el Doctor Angélico no estaba pensando en la teoría cuántica de campos! Y, de hecho, parece que la noción de estructura matemática es inherentemente platónica y algo ajena a la mente escolástica. Pero sea como fuere, el sentido tomista de la frase puede encontrarse en*De ente et esencia,*cap.2.

8. Esto recuerda la célebre advertencia supuestamente escrita sobre el portal de la Academia de Platón: "Que nadie que ignore la geometría entre aquí:ÉlSin duda, no es casualidad que la geometría haya ocupado un lugar central de honor en las tradiciones pitagórica y platónica. Se puede suponer que en su forma antigua o euclidiana, esta ciencia constituye de hecho una de las claves más importantes de la "cosmología", en el sentido de*De buena fe*sentido. Al parecer, el significado de la inscripción de Platón es que nadie que ignore la

geometría*poder*'entre aquí'.

multitud de otros atributos geométricos que caen dentro del alcance de la percepción humana. Además, los dos tipos de cantidades están estrechamente relacionados y ésta, sin duda, es la razón por la que una sola ciencia (a saber, las matemáticas) es capaz de abordar eficazmente ambas.

Las cualidades, en cambio, podrían caracterizarse precisamente por el hecho de que no se someten a descripción matemática. Y esta es sin duda la razón por la que Galileo y Descartes se sintieron obligados a prohibir estos atributos llamados "secundarios" del mundo exterior: las cualidades tenían que desaparecer porque no se podía hacer que encajaran en un universo mecánico, un universo que podría entenderse en términos puramente matemáticos. Sin embargo, como ya hemos demostrado detalladamente, las cualidades existen; el color rojo de una manzana, por ejemplo, existe y pertenece al objeto exterior tan verdaderamente como su forma. Todo se reduce a esto: una entidad carente de cualidades es ipso facto imperceptible; porque, de hecho, las cosas se perciben en virtud de su contenido cualitativo, incluso cuando los países en un mapa, por ejemplo, se hacen visibles, no (estrictamente hablando) por sus fronteras matemáticas, sino por sus respectivos colores. Y así encontramos que el mundo corpóreo comprende, después de todo, tanto "cantidades como "cualidades", como la mayoría de la gente había pensado desde el principio.

Pero mientras que las cualidades son, por así decirlo, omnipresentes en el plano corporal, no se encuentra ni una sola en el plano físico; porque el dominio físico consiste, como hemos visto, en cosas que pueden describirse, sin residuos, en términos matemáticos. Consiste, pues, en estructuras matemáticas, o en "formas matemáticas existenciadas", como he dicho algunas veces. Sin embargo, debemos recordar que los objetos físicos resultan, en última instancia, ser ni más ni menos que ciertas "potencias", en relación con el mundo corpóreo. Por lo tanto, no es de ningún modo descabellado suponer que la existencia, propiamente dicha, "comienza en el plano corpóreo". Por supuesto, se podría objetar que se trata de una cuestión de semántica y que el epíteto "existencia" puede aplicarse también al nivel físico; pero, por la misma razón, también estamos en nuestro derecho de adoptar la primera posición, que es lo que propongo hacer, de acuerdo con la idea de que "abajo, en el plano corpóreo, uno encuentra potencias potenciales".

*tiae*de diversa índole y nada más.

Ahora bien, los planos subexistenciales, concretamente el físico y el

materia secunda subfísica-están constituidas, como ya se señaló, por formas matemáticas. Por debajo del nivel de existencia sólo queda la cantidad. Cuando llegamos al plano corporal, en cambio, aparecen las cualidades: atributos que no pueden entenderse ni explicarse en términos cuantitativos. Es cierto que los objetos corpóreos admiten también atributos cuantitativos. De hecho, conllevan una cierta estructura matemática que se deriva del objeto físico asociado y que puede comprenderse plenamente en términos físicos.9 Y esa es, por supuesto, la razón por la que la física es posible en primer lugar, y por la que los físicos se han visto tentados a exorcizar la cualidades e identificar lo corpóreo con lo físico. Si dejamos de lado las cualidades, no quedará más que un único dominio ontológico, constituido por una estructura matemática.

Pero como sabemos, las cualidades se niegan a ser exorcizadas. Además, el hecho de que las cualidades abundan en el dominio corpóreo pero no se encuentran en ningún lugar en los planos subexistenciales sólo puede significar una cosa: cualidades que presagian esencia (<esse, 'ser'); la esencia, es decir, de la entidad corpórea. Y esa esencia, entendámoslo claramente, no es una estructura matemática: el hecho mismo de que los objetos corpóreos admitan atributos cualitativos basta para excluir esa posibilidad.

El dominio corpóreo está constituido, así, por "no matemáticos". esencias cal', por impactante que esto pueda parecer en nuestros días. 10

Pero sigamos. Habiendo discernido que las cualidades son indicativas de esencia, necesitamos ahora preguntarnos cuál es, en ese caso, el significado de las cantidades y, más generalmente, de las matemáticas.

9. De hecho, se puede decir que existe un isomorfismo inducido por la presentación entre cantidades corpóreas y subcorpóreas.

10. Unas pocas palabras sobre las ciencias antiguas, aquellas que supuestamente constituyen "supersticiones primitivas". Lo que generalmente uno no se da cuenta es que el*De buena fe*Las ciencias tradicionales se ocupan principalmente de las "esencias": aquello mismo que hemos excluido sistemáticamente de nuestra*Weltanschauung.*Un ejemplo de ello, sin duda, son los llamados cinco elementos de las cosmologías antiguas, que los intérpretes modernos se han apresurado a identificar con "tierra", "agua" y el resto, en el sentido literal de estos términos. Porque es muy probable que estos elementos no sean en realidad sustancias en el sentido moderno, sino "esencias" de las cuales la tierra, el agua y el resto constituyen, por así decirlo, ejemplificaciones. No es casual, pues, que uno de estos elementos fuera conocido en la época medieval

como el *quinta esencia* o 'quinta esencia' (de donde obviamente deriva nuestra palabra 'quintaesencia'). ¿Qué hay más para el

formas? La respuesta a esta pregunta, sin embargo, se conoce desde hace mucho tiempo; como decían los escolásticos: Numerus stat ex parte materiae. 11 Cantidad y estructura matemática, en otras palabras, se refieren a la materia, o más precisamente, al aspecto material de las cosas. El objeto concreto está hecho, como hemos visto, de materia y forma; y esta polaridad ontológica se refleja en el plano de la manifestación. El objeto existente da testimonio, por así decirlo, de los principios por los que está constituido; a los principios paternos y maternos, por así decirlo. Y ésta es la razón, finalmente, por la que en el dominio corpóreo hay cualidades y cantidades: una indicativa de la esencia, la otra del sustrato material.

❖ ❖ ❖

A la luz de estas consideraciones podemos, por fin, percibir la magnitud total de la desviación cartesiana. Porque parece que al rechazar las cualidades o atributos llamados "secundarios", Galileo y Descartes han descartado lo que en realidad es primario: la esencia misma de las cosas corpóreas. 12

Ahora bien, la física se ocupa de los aspectos cuantitativos de la manifestación cósmica; y esto es obviamente legítimo e informativo.

El punto, sin embargo, es que la doctrina hindú asocia los llamados cinco *bhutas* y sus contrapartes sutiles (los *tanmatras)* con las cinco cualidades sensibles; es decir, que un objeto corpóreo es audible en virtud de *akasa,* visible en virtud de *tejas,* palpa-· ble por *vayu,* perceptible al gusto por *ap,* y oloroso por *prithiv.* En una palabra, los llamados cinco elementos son los que hacen que las cosas sean perceptibles según los cinco modos sensoriales; y agreguemos que una vez comprendido que las cosas no son de hecho perceptibles simplemente en virtud de su supuesta "constitución atómica", resulta claro que efectivamente debe haber "elementos" de este tipo.

11. Esta máxima parece haber sido interpretada más o menos de la siguiente manera: El número surge a modo de ejemplificación, de acuerdo con el hecho de que hay muchos caballos, por ejemplo, pero sólo una única forma inteligible, es decir, la forma, idea o "especie". ' de un caballo. En otras palabras, el ejemplar único se replica o multiplica en cierto sentido a través del sustrato material, mientras que la forma como tal permanece una e indivisible, al igual que cada individuo (<*individuo)* o miembro de la especie. ÉlParece, pues, que "número" deriva, no de la forma como tal, sino de hecho *ex parte materiae.*

12. Para decirlo en términos escolásticos: precisamente han expulsado formas

sustanciales. Sin embargo, en ausencia de formas sustanciales, el mundo corpóreo deja de existir.

hasta cierto punto. Pero no hay que esperar demasiado. A pesar de todas sus famosas proezas, existen límites a lo que la física es capaz de comprender o explicar, y estas limitaciones resultan ser mucho más estrictas de lo que uno comúnmente se inclina a suponer. Como ha observado el metafísico francés René Guenon:

> Se puede decir que la cantidad, considerada como constitutiva del lado sustancial del mundo, es como su condición "básica" o fundamental: pero hay que tener cuidado de no ir demasiado lejos y atribuirle una importancia de orden superior. orden de lo que es justificable, y más particularmente no intentar extraer de él la explicación de este mundo. No hay que confundir los cimientos de un edificio con su superestructura: mientras sólo hay cimientos no hay edificio, aunque los cimientos sean indispensables para el edificio; de la misma manera, mientras sólo hay cantidad, todavía no hay manifestación sensible, aunque la manifestación sensible tenga su raíz en la cantidad. La cantidad, considerada por sí misma, es sólo una "presuposición" necesaria, pero no explica nada; efectivamente es una base, pero nada más, y no hay que olvidar que la base
> es por definición aquello que se sitúa en el nivel más bajo.·····13

Ahora bien, es cierto que la frase "no explica nada" puede resultar excesiva; pero sirve igualmente como contrapeso a otras afirmaciones no menos exorbitantes, formuladas por quienes quieren "extraer la explicación de este mundo" de los datos de la física.

En rigor, lo único de un objeto corpóreo que uno puede
es capaz de entender en términos de física son sus atributos cuantitativos; y uno es capaz de hacerlo, además, en virtud del hecho de que los atributos en cuestión se heredan, por así decirlo, del objeto físico asociado. Más allá de esto la física no tiene nada que decir. Tiene "ojos" sólo para lo físico: SX es todo lo que percibe, todo lo que aparece en sus gráficos. Y ésta es sin duda la razón por la que los físicos han podido convencerse a sí mismos (¡y al resto del mundo educado!) de que el objeto corpóreo como tal no existe; o para decirlo al revés: que X es 'nada más que' SX. Es la razón por la que se cree que las entidades corpóreas están "hechas de" átomos o

13. *El reino de la cantidad*(Hillsdale: Sophia Perennis, 2004), páginas 19-20.

partículas subatómicas, y por qué las cualidades se consideran "meramente subjetivas".

Finalmente, es necesario observar que esta supuesta reducción de lo corpóreo a lo físico tiene el efecto de volver ontológicamente incomprensible lo físico mismo. Por supuesto, aún se pueden calcular y hacer predicciones cuantitativas, pero eso es todo. De hecho, uno podría responder a la pregunta "¿Cuánto?" con increíble precisión; pero cualquier intento de responder a la pregunta "¿Qué?" conduce necesariamente a la contradicción o al absurdo. Esta Weltanschauung (que en realidad no es una Weltanschauung) no admite una ontología. ¿Y no es ésta precisamente la conclusión que se puede sacar del interminable debate sobre la "realidad cuántica"? Además, es imposible incluso dar una explicación no falsificada de la metodología científica dentro del cuadro de la posición reduccionista, porque en ausencia de cualidades no puede haber percepción y, por tanto, tampoco medición. En rigor, uno no conoce ni lo corpóreo ni lo físico, ni tiene una concepción clara de lo que trata la física. ¿Es de extrañar, entonces, que los físicos hayan (en palabras del físico Nick Herbert) "perdido el control de la realidad"? 14

14. Los lectores de Eric Voegelin tal vez recuerden su nefasta tesis de que, debido al predominio de las "segunda realidades" en los tiempos modernos, "el terreno común de la existencia en la realidad ha desaparecido" y que, como resultado, "el universo del discurso racional no existe". se ha derrumbado.' (Ver 'Sobre el debate y la existencia', reimpreso en*Un lector de filosofía pública,*[New Rochelle, Nueva York: Arlington House, 1978]). Parece haber mucho de verdad en esta afirmación. Sin embargo, Voegelin piensa en "segunda realidad" de tipo cultural e ideológico; aparentemente no se le ocurrió que la "segunda realidad" suprema -la que parece subyacer a todas las demás y ha atormentado a casi todos- no es otra que el universo físico, tal como se concibe generalmente. En el momento en que uno olvida que este llamado universo no constituye más que un dominio subexistencial -una mera potencia en relación con lo corpóreo-, se ha creado un monstruo. Porque, de hecho, el dominio físico, así "hipostatizado", se convierte

inmediatamente en el principal usurpador de la realidad, la gran ilusión de la que surgen una multitud de errores funestos.Él¡Perder el control de la realidad no es algo pequeño ni inofensivo!

v

DE SI

'DIOS JUEGA A LOS DADOS'

SE SABE QUE los sistemas de la mecánica cuántica son indeterminados. En lo que respecta a sus predicciones, la mecánica cuántica es, por tanto, una teoría inherentemente probabilística o estadística; esto está claro. Lo que no está nada claro, en cambio, es si la teoría es completa, es decir, fundamental. Es posible que la mecánica cuántica se ocupe de ciertos epifenómenos estocásticos generados por un sistema subyacente de tipo determinista. Eso es más o menos lo que pensaba Einstein, y lo que piensan todavía hoy quienes creen en las «variables ocultas», desafiando la ortodoxia copenhagenista. Y así continúa el célebre debate entre Einstein y Bohr, y presumiblemente continuará hasta que se haya resuelto la cuestión central: la cuestión de si el universo es determinista o no.

Para empezar, quisiera señalar que la cuestión no puede resolverse en un plano estrictamente científico o "técnico". La duración misma del intercambio real entre Bohr y Einstein lo sugiere por sí sola; porque si se tratara simplemente de una cuestión de física, uno pensaría que los dos físicos más destacados del siglo podrían haber resuelto la cuestión entre ellos en un lapso de tiempo razonable. Pero no lo resolvieron; y Bohr, por ejemplo, aparentemente continuó dándole vueltas al problema hasta el día de su muerte. 1 Sin embargo, lo que es aún más pertinente, y prácticamente lo confirma, es el hecho de que existen teorías estrictamente deterministas que conducen exactamente a

I.La noche antes de morir, Bohr dibujó una figura en su pizarra. Describía la configuración experimental del "contraejemplo" más desconcertante de Einstein.

las mismas predicciones que la mecánica cuántica. Estas son las llamadas teorías de variables ocultas, originalmente conjeturadas por de Broglie y construidas por primera vez por David Bohm en 1952. Sin duda, la indeterminación empírica persiste: sólo que ahora surge, supuestamente, no porque el universo mismo sea indeterminista, sino porque el experimentador es, en principio, incapaz de preparar un sistema físico en el que las "variables ocultas" estén sujetas a condiciones iniciales prescritas. condiciones. Por lo tanto, desde un punto de vista estrictamente científico, parece que uno puede elegir al respecto. Se puede optar por una visión determinista o indeterminista de la realidad, por un modelo neoclásico2 o cuántico; parece ser más o menos una cuestión de gusto. Y los gustos difieren. Hay científicos de primer nivel que no ven nada incongruente en la noción de acausalidad fundamental, visión resumida por John von Neumann con las siguientes palabras: "En la actualidad no hay ninguna ocasión ni razón para hablar de causalidad en la naturaleza";3 y nuevamente allí Hay otros, empezando por Einstein, que consideran impensable que "Dios juegue a los dados".

2. Sin embargo, lo que es necesario abandonar es la noción clásica de localidad; Esto es lo que John Stuart Bell ha establecido como teorema de la mecánica cuántica en1964,y lo que desde entonces ha sido verificado mediante ciertos experimentos sensibles. Sobre esta cuestión básica la física moderna ha emitido un veredicto definitivo. A diferencia del determinismo riguroso, el principio clásico de localidad ya no constituye una opción viable. Y se podría añadir que en esta cuestión Einstein no sólo había estado en desacuerdo con Bohr, sino que estaba claramente equivocado.ÉlSin embargo, fue el propio Einstein quien abrió el camino que finalmente condujo a la prueba de la no localidad. En otras palabras, el artículo de Einstein-Podolski-Rosen ha logrado lo contrario de lo que se pretendía; en lugar de demostrar que la teoría cuántica es incompleta (una cuestión que todavía está abierta, por decir lo menos), ha llevado a refutar el principio de localidad y, por tanto, a la caída de la Weltanschauung clásica. Porque, de hecho, el modelo "neoclásico" del que hablamos (es decir, la teoría de De Broglie-Bohm) está muy alejado del cuadro clásico, a pesar de su aspecto de determinismo. Y esto puede, en efecto, explicar la recepción bastante fría que Einstein le dio al trabajo de Bohm.

3. A lo que von Neumann añade:'. ...porque ningún experimento indica su presencia, ya que los macroscópicos son inadecuados en

principio, y la única teoría conocida que es compatible con nuestras experiencias relativas a procesos elementales, la mecánica cuántica, la contradice' (Fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica [Princeton : Prensa de la Universidad de Princeton,1955],p328). Hoy se sabe que en el último punto von Neumann ha exagerado gravemente su caso; sus deducciones matemáticas no descartan la posibilidad de una teoría de variables ocultas, como von Neumann

¿Qué vamos a decir entonces? Si el asunto no puede resolverse sobre una base científica, ¿por qué medios -aparte del "gusto"- puede resolverse?

¿Es el universo determinista o no? Ésa es la cuestión. Allá

Por supuesto, no cabe duda de que prevalece cierto determinismo en el plano empírico. Después de todo, estamos rodeados de fenómenos (desde el movimiento de los planetas hasta el funcionamiento de innumerables dispositivos fabricados por el hombre) que pueden describirse y predecirse con la precisión que uno desee mediante los métodos de la física clásica. E incluso en el dominio cuántico, como sabemos, sucede que la evolución de los sistemas físicos está rigurosamente gobernada por la ecuación de Schrodinger, hasta el fatídico momento del colapso del vector de estado. En este punto, sin embargo, el determinismo (o, equivalentemente, la causalidad) parece derrumbarse. Y, sin embargo, incluso esta ruptura (real o aparente, según sea el caso) no tiene en general ningún efecto mensurable en el nivel corpóreo, donde se trata necesariamente de promedios estadísticos, extendidos a conjuntos atómicos de tamaño estupendo. Por tanto, es en realidad la llamada ley de los grandes números la que explica el determinismo clásico. Y es por eso que von Neumann podría decir que "en la actualidad no hay ocasión ni razón para hablar de causalidad en la Naturaleza". Desde esta perspectiva, el determinismo clásico se reduce a un mero epifenómeno, mientras que en el nivel fundamental, tal como se concibe actualmente, la causalidad colapsa.

Sin embargo, debemos recordar que también existen corpóreos.

fenómenos (que involucran conjuntos subcorpóreos tan "macroscópicos" como uno podría desear) en los que los efectos de la indeterminación cuántica no están enmascarados por epifenómenos estadísticos, sino que aparecen, por así decirlo, a plena vista; detectado en primer lugar. Esto es lo que sucede, por ejemplo, cuando se coloca un contador Geiger cerca de una fuente radiactiva. La desintegración de los núcleos, que según la mecánica cuántica constituye un proceso indeterminado, desencadena entonces una secuencia correspondiente de eventos discretos a nivel corpóreo. Por supuesto, todavía es concebible

había pensado. De hecho, resulta que el célebre "teorema de von Neumann", que durante mucho tiempo había dominado el pensamiento científico sobre esta cuestión, no viene al caso. Ver especialmenteJ.S. Bell, 'Sobre la onda piloto imposible', Founda
*ciones de Física,*vol. 12 (1982), páginas
989-99.

que puede haber un "mecanismo oculto" dentro del núcleo que determina el momento de desintegración -y por tanto la secuencia empírica- de acuerdo con alguna ley matemática, y esto es, en efecto, lo que sostiene la teoría de las variables ocultas. La verdadera cuestión, sin embargo, es si uno está obligado, a priori, a suponer que tal mecanismo debe existir.

Una observación más para aclarar el problema: el concepto de determinismo no coincide en modo alguno con la noción de previsibilidad. Después de todo, incluso el defensor más acérrimo del determinismo debe reconocer que no todo en el mundo puede predecirse. El propio Laplace -ese dechado de deterministas- sólo sostuvo que el futuro del universo podría, en principio, calcularse, si tan sólo se conociera la posición exacta y el momento de cada partícula; pero no hace falta decir que ningún científico ha estado nunca tan loco como para suponer que tal conocimiento de las "condiciones iniciales" puede de hecho obtenerse por medios científicos, o que el cálculo requerido podría realmente llevarse a cabo una vez que se hayan obtenido los datos. . Es cierto, sin duda, que un fenómeno es predecible sólo en la medida en que está determinado; pero el fenómeno puede muy bien determinarse sin ser predecible en un sentido pragmático o empírico; después de todo, existen límites a lo que los humanos podemos hacer.

¿'Dios juega a los dados'? Ésa parece ser la cuestión. y eso
parece que Einstein lo ha dicho bien; porque la redacción misma sugiere lo que a estas alturas debe haberse vuelto bastante evidente: a saber, que la cuestión no es de hecho científica, sino incurablemente metafísica.

❖ ❖ ❖

El problema, entonces, sólo puede resolverse sobre un terreno metafísico. Por lo tanto, nos corresponde reflexionar nuevamente sobre los principios metacósmicos de la materia y la forma, y tener en cuenta que estos principios gemelos se reflejan de diversas maneras dentro de cada plano de manifestación o dominio empírico. En todos sus aspectos, de hecho, la Naturaleza nos habla, por así decirlo, de la dualidad hilomófica. Un ejemplo de ello, como hemos descubierto, es la distinción entre cantidades y cualidades; porque, como hemos visto, las cantidades pertenecen a la materia, mientras que las cualidades

son indicativos de esencia y, por tanto, de forma. O para dar un segundo ejemplo de particular interés: se puede demostrar que el espacio corresponde al aspecto material y el tiempo al aspecto formal de lo que se denomina continuo espacio-tiempo. O también: la complementariedad biológica de lo femenino y lo masculino (¡si se nos permite decirlo hoy en día!). Por supuesto, no podemos entrar en una discusión extensa sobre todos estos ejemplos; Baste decir que el mundo está lleno de polaridades hilomorfas, ninguna de las cuales, además, puede entenderse en profundidad sin hacer referencia a su prototipo ontológico.

En este punto será bueno recordar el llamado yin-yang, el emblema familiar de los taoístas, que podría denominarse un icono de la dualidad hilomorfa. Consiste, como se sabe, en un círculo compuesto por un campo blanco y otro negro, que se encuentran en una "S" inscrita. Dentro del campo blanco, además, hay un pequeño círculo negro, y dentro del negro, un círculo blanco. Según la interpretación tradicional, la figura representa la complementariedad del yin y el yang, los principios gemelos correspondientes al sustrato material y a la esencia (o materia y forma), respectivamente. Sin embargo, es costumbre visualizar la polaridad yin/yang, no metacósmicamente, sino en términos de tal o cual manifestación cósmica; es decir que el yin yang se presta a innumerables aplicaciones. Representa una ley universal de complementariedad, no muy diferente del "principio de complementariedad" general concebido por Niels Bohr en sus últimos años.4

Sin embargo, el yin siempre está del lado de la materia y, por tanto, representa envía el aspecto oscuro o ininteligible de la cosa o fenómeno en cuestión, razón por la cual se representa en el yin-yang con el color negro. Yang, por otra parte, significa forma y por tanto se refiere al aspecto inteligible; por lo tanto, se representa con el color blanco.

Pero, ¿cuál es, en particular, el significado del círculo negro dentro del campo blanco y del círculo blanco dentro del negro? Claramente, lo que está en juego aquí debe ser más que una complementariedad en el sentido habitual: debe ser una mutua inhabitación, o pericoresis, como uno

4. ÉlFue sin duda gracias a una profunda intuición que Bohr eligió el yin-yang como su emblema heráldico.

Podrías decir. Y como veremos más adelante, aquí reside la clave del problema del determinismo.

Volvamos a la física. La física se ocupa, evidentemente, de ciertas determinaciones matemáticas que, como tales, están claramente del lado del yang. Pero entonces, dentro de este contexto, ¿qué significa yin? ¿Qué otra cosa podría ser sino una cierta indeterminación correspondiente? Por lo tanto, a la luz del yin-yang se puede concluir que "en medio" de la determinación, de alguna manera debe aparecer la indeterminación. ¿Pero cómo? Antes de 1925, ¿quién podría haber imaginado tal eventualidad? Pero esto es precisamente lo que ha sucedido. La más precisa de las teorías físicas jamás concebida por el hombre ha dado como resultado (¡nada menos que como teorema matemático!) el llamado principio de incertidumbre. Dentro del campo blanco ha aparecido inesperadamente un círculo negro. Resulta que se trata de un círculo muy pequeño cuyo radio, por así decirlo, es del orden de la constante de Planck.

Mi punto ahora se ha vuelto evidente: la interacción de determinación e indeterminación tal como la concibe la teoría cuántica, lejos de ser en modo alguno irrazonable, resulta ser exactamente lo que exige la doctrina yin-yang. La indeterminación cuántica, lejos de ser una aberración inexplicable, resulta simplemente ser la cara yin de la moneda. Contrariamente a nuestras expectativas clásicas, parece así que la determinación y la indeterminación no son en realidad opuestas ni mutuamente excluyentes, sino que de hecho parecen implicarse mutuamente en un cierto sentido elevado y maravilloso. La concepción de un universo perfectamente determinista resulta, por tanto, quimérica; es decir, que Dios en cierto sentido “juega a los dados”, por muy desagradable que pueda resultar este lila para el racionalista cartesiano.5

❖ ❖ ❖

'El universo; alguien ha dicho, 'es un tejido tejido de necesidad y libertad, de rigor matemático y juego musical; todo fenómeno no participa de estos dos principios.

5. Sin embargo, dado que Dios no actúa "en el tiempo", también se puede decir que Dios no "juega a los dados". Volveré a este aspecto de la cuestión en el próximo capítulo.

Parece, sin embargo, que de estos dos principios, el segundo fue completamente olvidado durante la era newtoniana. Con el declive de la Edad Media parece que comenzó a manifestarse un pronunciado sesgo a favor de la "ley". Los hombres no sólo llegaron a creer más profundamente en la existencia de leyes universales, sino que comenzaron a imaginar que todo movimiento y transformación perteneciente al dominio corpóreo podía explicarse rigurosamente basándose únicamente en la fuerza de la ley. Y esta ley supuestamente omnicomprensiva llegó lo suficientemente pronto como para ser concebida en términos estrictamente matemáticos e incluso mecánicos, de acuerdo con lo que podría llamarse el paradigma del reloj. Ha habido mucho debate sobre las causas de esta evolución intelectual, que puede haber ido desde un escolasticismo decadente que salió mal hasta la construcción real de relojes mecánicos;6 pero lo que nos preocupa especialmente es el hecho de que el movimiento culminó en la filosofía cartesiana. . Después de todo, fue Descartes quien formuló la doctrina del determinismo mecánico en su formato completo y, con ello, sentó las bases teóricas sobre las que posteriormente se basó el edificio de la física newtoniana; y así fue a través del legado cartesiano como el espectro de un universo mecánico finalmente se impuso sobre la civilización occidental. En retrospectiva, se puede decir que desde la llamada Ilustración hasta la época de Max Planck, la Weltanschauung ha reinado suprema; e incluso hoy, frente a la indeterminación cuántica, sigue siendo una influencia formidable entre nosotros. Después de todo, ¿qué más está en juego en la controversia Bohr-Einstein que un cierto cartesianismo residual? ¿Por qué si no un físico debería oponerse con tanta vehemencia a la idea de que "Dios juega a los dados"? Hay quienes, sin duda, justificarían su oposición a la idea de indeterminismo con un argumento u otro, y Stanley Jaki, por ejemplo, ha llegado incluso a percibir en el Copenhaguenista

6. Ya en el siglo XIV encontramos una marcada predilección por ciertos tipos de relojes astronómicos que sin duda sugerían fuertemente el paradigma del mecanismo de relojería. Como ha descrito un historiador la escena: "Ninguna comunidad europea se sentía capaz de mantener la cabeza erguida a menos que en medio de ella los planetas giraran en ciclos y epiciclos, mientras los ángeles trompetaban, cantaban los gallos y los apóstoles, reyes y profetas marchaban y contramarchaban". en el auge de las horas' (Lynn White,*Tecnología medieval y cambio social*[Oxford: Oxford University Press, 1962], p.124).

Esta postura es "una inconsistencia radical", resultante supuestamente del "rechazo radical por parte de esa filosofía de cualquier pregunta sobre el ser". 7 Pero si bien puede ser cierto que los físicos adheridos a la escuela de pensamiento de Copenhague hayan prestado, por regla general, escasa atención a la ontología, sostengo que sólo una ontología desequilibrada -una que conciba el mundo como compuesto únicamente de yang- podría conducir a sus seguidores crean en un determinismo de estilo cartesiano, o perciban una "inconsistencia radical" en su negación.

Es cierto que un acontecimiento es inteligible en la medida en que ejemplifica una ley, un principio formal de algún tipo; y por la misma razón, todo lo que no cae bajo la égida de una ley es ipso facto ininteligible. Pero nada dice que lo ininteligible no pueda ocurrir, por muy angustiosa que la idea pueda resultar para el racionalista. No hay motivos a priori para suponer, por ejemplo, que la desintegración de un núcleo radioactivo deba estar sujeta en principio a una ley determinista, sin importar lo que la teoría cuántica pueda tener que decir sobre la cuestión.

Volviendo a Descartes, es interesante señalar que junto con el principio de la bifurcación y la desafortunada res extensae, el sabio francés ha introducido una tercera noción de gran importancia: a saber, su llamada geometría analítica. La idea básica -familiar para cualquier estudiante de matemáticas- consiste en la suposición de que el continuo matemático, ya sea una línea, un plano o un espacio de dimensión superior, puede "coordinatizarse" y, por tanto, concebirse en efecto como un punto infinito. colocar. Hoy se sabe que este paso no es tan problemático como se pensaba, y algunos matemáticos contemporáneos de renombre han llegado incluso a rechazar la idea de conjuntos infinitos. Sin embargo, lo que generalmente no se ve es que la llamada coordinatización del continuo ha destruido -o mejor dicho, oscurecido- la distinción entre "potencia" y "acto" dentro del dominio matemático. Según la concepción precartesiana, como hemos señalado antes, no hay puntos en una línea o en el plano, es decir, hasta que estos puntos hayan sido construidos de alguna manera. En otras palabras, los puntos representan determinaciones, mientras que el continuo como tal constituye una especie de sustrato material o

7. 'De la cosmología científica a un universo creativo; en*Los intelectuales hablan de Dios,*editado por Roy A. Varghese (Chicago: Regnery Gateway,1984),p7i.

'potencia' -que es la razón, recordemos, por la cual el ejemplo de la geometría podría usarse como metáfora ontológica. Se puede decir que el continuo representa el principio material en el dominio cuantitativo, la mitad negra, por así decirlo, del círculo. Pero esto es precisamente lo que el racionalista francés estaba obligado y decidido a extirpar, ya sea en el universo externo o en el dominio de su representación matemática. En cualquiera de los dos ámbitos los "negros" tuvieron que irse. Con la introducción de lo que hasta el día de hoy se conoce como sistema de coordenadas cartesiano, la obra cartesiana queda completa.

Pero, aun así, lo "negro" permanece. Y es más, en virtud de esa maravillosa pericoresis de la que habla el yin-yang, se combina realmente con lo "blanco". En el corazón de todas las cosas se encuentra una cierta coincidentia oppositorum; y aquí, como he dicho, reside la clave de nuestro problema: el enigma del indeterminismo. El hecho sorprendente es que la libertad y la necesidad pueden coexistir; el uno no excluye ni anula al otro, como comúnmente se piensa. Así, en medio de la necesidad, puede existir la libertad; y no simplemente como un elemento extraño -en realidad no como una mancha negra en un campo blanco- sino como algo íntimamente ligado a la necesidad como a su contraparte. En una palabra, hay una cierta unión de libertad y necesidad, que además se presenta de innumerables modos. Todo el arte, por ejemplo, se basa en tal síntesis. En una composición musical, por ejemplo, la tonalidad y la métrica están del lado de la "necesidad"; es dentro de este marco, de esta "ley", que la composición está obligada a desarrollarse. Lo que se desarrolla, por otra parte -el contenido melódico, por así decirlo- no está en modo alguno determinado o necesario por esa tonalidad y ese compás. Una verdadera obra de arte, como sabemos, muestra invariablemente una libertad maravillosa, que de hecho sólo se ve acentuada por el rigor de la forma prescrita. Es precisamente dentro de una determinada ley o canon prescrito donde se puede lograr una verdadera libertad de expresión artística. Como dijo Goethe: In der Beschrinkung zeigt sich der Meister (En delimitación el artista se muestra).

Habiendo hablado de "libertad" en el contexto del arte, no debo dejar de señalar que este término no presagia en modo alguno la arbitrariedad

o lo accidental. Por supuesto, la libertad de expresión presupone una cierta "indeterminación" o margen de maniobra en los límites prescritos; pero el paso de la potencia al acto no se efectúa en realidad tirando un dado. Lo realiza evidentemente el artista, el agente inteligente que se expresa o se revela en der Beschrinkung, es decir, en una sujeción a ciertos límites.

Intentemos comprender esta interacción -esta "dialéctica de libertad y necesidad"- tan claramente como podamos; porque sucede que mucho depende de esta cuestión. El acto creativo, digo, consiste en la libre imposición de un determinado límite, de una determinada determinación. Esa nueva determinación, sin embargo, es algo bastante diferente de los límites originales o preasignados. Por tanto, es necesario distinguir claramente entre límites "desde abajo", que de alguna manera están dados, y límites "desde arriba", que se imponen libremente. Cabe señalar, además, que las segundas pueden, de hecho, imponerse precisamente porque las primeras han dejado un cierto margen de maniobra o "indeterminación". Es en virtud de tal indeterminación que la tonalidad y la métrica, por ejemplo, pueden servir como canon para la composición musical.

Pero hay más que decir. Sucede que hay cierta armonía o parentesco entre las dos clases de límites; porque el artista no sólo tiene cuidado de no transgredir el canon prescrito, sino que, como es sabido, selecciona cuidadosamente esta "restricción" teniendo en cuenta la idea artística que desea expresar.

❖ ❖ ❖

Antes de abandonar el tema del arte conviene observar que el arte en general nos alerta sobre un hecho metafísico de suma importancia. Porque el ejemplo del arte nos obliga a reconocer que el paradigma hilomórfico, tal como lo hemos concebido hasta ahora, es incompleto e insuficiente. Siempre hemos estado mirando sólo la mitad del cuadro: la mitad inferior, como de hecho se podría decir.

Volvamos entonces a nuestro punto de partida hilomorfo y preguntémonos: ¿Cómo adquiere un trozo de mármol sin tallar la forma de Sócrates? Lo primero que hay que tener en cuenta es que la respuesta a esta pregunta no puede formularse únicamente en términos de materia y forma; es decir, se requiere, una vez más, un tertium quid, que ahora, sin embargo, debe

Responde a la idea de agente o principio activo: el artista o escultor, es decir, quien otorga la forma. Y esa forma, además, debe de algún modo preexistir como arquetipo, o como "el arte en el artista", para usar otra frase escolástica. Se ve, así, que el paradigma hilomórfico, en su formato completo, debe implicar, no dos, sino cuatro ingredientes, correspondientes precisamente a las llamadas causas materiales, formales, eficientes y paradigmáticas de Aristóteles.

Por otro lado, no es necesariamente inadmisible descuidar la distinción entre la causa eficiente y la paradigmática o final -entre el "artista" y el "arte en el artista"- y combinar así las dos en un solo principio activo. Sin embargo, lo que de ningún modo podemos permitirnos dejar de lado es la idea de un agente o principio activo como tal. Necesitamos, por tanto, recuperar la distinción entre*naturaleza natural*y*naturaleza natural:*lo 'naturalizado' y lo 'naturalizado', para decirlo, una vez más, en términos escolásticos.

Pero como sabemos, la idea de un agente metacósmico -de un*natura naturans-tiene*caído en desgracia académica; y así también la palabra "naturaleza" ha perdido su connotación superior y ha pasado a referirse exclusivamente a este o aquel aspecto de la naturaleza.*natura naturata.*Después de todo, una vez descartada la noción de “formas”, ya no hay necesidad de un “agente que otorga formas”. Se ha corrido la voz de que la "evolución" soluciona el problema de la génesis: desde el universo como un todo hasta una especie de microbios, todo simplemente "evoluciona". Ahora bien, las cosas sin duda evolucionan; pero sólo después de que existen, después de que han recibido una forma o naturaleza que*poder*'desplegar o desplegar., Y así, en el recuento final, el hecho es que*naturaleza natural*presupone*naturaleza natural:*lo natural presupone lo sobrenatural, por desagradable que esta verdad pueda resultar para algunos. Y en cuanto al término escolástico "natura naturans": constituye, por supuesto, un nomen Dei: se refiere a Dios, concebido como el "dador de formas":

❖ ❖ ❖

Ahora estamos finalmente en posición de considerar "la unión de la libertad y la necesidad, en el contexto de la física, que es, después de todo, nuestra principal preocupación". ¿Dónde, en primer lugar, se produce esa unión? Tiene lugar, digo, en el fenómeno de la indeterminación cuántica.

Sea S un sistema físico y X un observable de S, y supongamos que S no está en un estado propio de X. El valor obtenido en una medición de X es entonces indeterminado. En principio, la medición puede arrojar cualquier valor perteneciente al espectro de X; Sostengo que no existe ninguna ley que determine cuál será el resultado. Por otro lado, el vector de estado de S determina, no obstante, una distribución de probabilidad asociada, lo que significa que la transición del sistema al resultado empírico no es, después de todo, indeterminada en un sentido absoluto; porque si el proceso se concibe, digamos, en términos de la fundición de un dado, éste debe ciertamente ser "pesado" de acuerdo con una ley prescrita.

Ciertamente, la distribución de probabilidad de la mecánica cuántica asociada con un observable dado no determina el resultado de una medición. Pero, sin embargo, debe tener tanto que ver con ese resultado como los pesos de un dado cargado tienen que ver con el resultado de un lanzamiento; porque, de hecho, a nivel estadístico los dos casos son indistinguibles. La cuestión, sin embargo, es la siguiente: en el caso de un dado real, la influencia de los pesos se produce mediante un proceso temporal que, además, es estrictamente determinista. Después de todo, el movimiento de un dado está determinado por las ecuaciones de la mecánica clásica, es decir, la indeterminación entra en escena en virtud de nuestra incapacidad para controlar las condiciones iniciales con un grado suficiente de precisión. En consecuencia, el caso es análogo al de las variables ocultas. ¿Pero es posible concebir la indeterminación cuántica de esta manera? ¿Es de hecho legítimo suponer que el resultado de una medición es en realidad el resultado de algún proceso temporal, sea determinista o no?

Parece, a la luz de la teoría cuántica, que esta cuestión debe ser respondió negativamente. Porque el colapso del vector de estado asociado con una determinación de X se presenta como una discontinuidad y, por tanto, como un evento instantáneo, si se permite tal expresión. Y a diferencia de las discontinuidades que encontramos en el dominio clásico, esta discontinuidad de la mecánica cuántica no surge de una continuidad subyacente a modo de aproximación, sino que resulta irreductible en principio a cualquier proceso temporal continuo. Ahora bien, hay que admitirlo: Natura non facit saltus: la naturaleza no «salta»; pero es necesario entender que esta máxima se aplica a la "naturaleza" en el sentido

sentido ordinario: a natura naturata a diferencia de natura naturans. Mientras tanto, por extraño que parezca, la característica de la natura naturans es actuar, no a través de un proceso temporal, sino "instantáneamente", por así decirlo. Se puede decir que la continuidad es indicativa del sustrato material, mientras que la discontinuidad es de hecho el sello distintivo del acto creativo.

Nuestro punto ahora se ha vuelto evidente: la importancia de la discontinuidad de la mecánica cuántica -la importancia del colapso del vector de estado- reside en el hecho de que presagia una acción de natura natur ans. Hay una cierta transición de la potencia a la manifestación del plano físico al corpóreo, y tal transición sólo puede efectuarse mediante el principio creativo o "dador de forma", que es la natura naturans. Pero dado que la acción de la natura naturans es necesariamente "instantánea" (cuestión a la que volveré en el próximo capítulo), resulta que en realidad no existe ningún proceso temporal, ni una "tirada del dado" real, que determine o selecciona el valor medido de X del espectro de resultados posibles. Esta determinación proviene, por así decirlo, "de lo alto" e interrumpe el curso normal de los acontecimientos, es decir, la evolución Schrödinger del sistema físico dado.

El fenómeno de la indeterminación cuántica puede ahora entenderse por analogía con el fenómeno de la producción artística. 8 Una vez más, hay dos tipos de límites: los límites 'desde abajo', en primer lugar, que consisten en los pesos de probabilidad del vector de estado; y los límites "desde arriba", es decir, los valores medidos del observable dado, tal como se revelan en el estado final del instrumento corpóreo. Y estos dos tipos de límites, obviamente, son bastante diferentes: hasta el punto de que pertenecen de hecho a planos ontológicos distintos.9 La libertad aparente, además, en la imposición de los límites

8. El escenario de la mecánica cuántica resulta, pues, rigurosamente análogo al ejemplo del arte. La razón de esta analogía, además, la sugiere la máxima escolástica: "El arte imita a la naturaleza"; es decir, la naturaleza en el sentido de*naturaleza natural.*

9. A la luz de nuestras consideraciones en el Capítulo4,parece que las determinaciones por las cuales*potencias*se actualizan en el plano corpóreo debe implicar límites tanto cualitativos como cuantitativos. Las cantidades por sí solas, como he señalado repetidamente, no constituyen todavía una entidad corpórea.

determinaciones finales, presupone obviamente, una vez más, una correspondiente indeterminación por parte de los límites preasignados.

Lo que nos desconcierta enormemente, por otro lado, es el hecho de que los resultados de las mediciones cumplan (por sus frecuencias relativas) las demandas de los pesos de probabilidad preasignados -como por milagro- en una especie de "baile" espontáneo que desafía el análisis causal. Sin embargo, el significado metafísico de este enigma ha quedado claro. El fenómeno puede entenderse por analogía con el arte; lo que aquí nos enfrentamos es una auténtica unión de libertad y necesidad: de "rigor matemático y juego musical".

VI

CAUSALIDAD VERTICAL

LAS REFLEXIONES DEL CAPÍTULO ANTERIOR han llevado a
iluminan una verdad importante: contrariamente a las presuposiciones del pensamiento científico moderno, el universo observable no es en última instancia inteligible sobre la base de la causalidad natural; Para decirlo en términos escolásticos: la natura naturata presupone la natura naturans. El mundo natural o "naturalizado" presupone una agencia creativa o "dadora de forma" no simplemente en el sentido de una causa primera que dio existencia al universo, sino como un principio trascendente de causalidad que está operativo aquí y ahora. Ésta es la conclusión a la que hemos llegado impulsado por el fenómeno del colapso del vector estatal; Lejos de constituir simplemente un enigma de la teoría cuántica, el significado de ese "colapso" resulta ser, en primer lugar, metafísico. Lo que está en cuestión es la validez del naturalismo, la hegemonía postulada de la causalidad natural. Resulta que, después de todo, el universo observable no responde a la concepción de un sistema cerrado; no sólo existe un Metacosmos, sino que uno finalmente se ve obligado a concluir que el universo espacio-temporal no existe ni funciona por sí solo.

Se ha dicho, con bastante frecuencia, que la mecánica cuántica ha invalidado el postulado del determinismo, la noción de que el estado del universo en cualquier momento inicial determina sus estados futuros. En lugar de un determinismo rígido, la nueva física supuestamente ha llegado a la concepción de un universo parcialmente aleatorio, en el que hay margen para lo que, a falta de una legalidad inteligible, se denomina "azar". Se nos dice que la previsibilidad del universo newtoniano es inherentemente estadística y se aplica a conjuntos macroscópicos que involucran un gran número de partículas fundamentales, mientras que en el nivel de las partículas mismas el elemento de azar surge.

en juego, y las leyes que todavía se aplican no son suficientes para determinar el resultado de los procesos naturales. Sin embargo, si bien es cierto que el determinismo clásico ha sido derrocado, resulta erróneo hablar de "azar" en referencia al micromundo. Como he señalado antes, el colapso de un vector de estados (que distingue un estado propio particular de un conjunto de estados propios 1) no es en realidad comparable al lanzamiento de un dado; porque mientras que este último constituye un proceso temporal, por indeterminado que sea, el colapso de un vector estatal no puede concebirse así. Digamos apodícticamente que el colapso del vector de estado no es el resultado de un proceso temporal, ya sea determinista, aleatorio o estocástico.2 Entra en escena un orden superior de causalidad, que debe distinguirse categóricamente de la causalidad temporal en cualquiera de los casos. sus modos; Resulta que el llamado "colapso" no puede atribuirse más al azar que al determinismo, sino que en realidad implica un tipo de causalidad que, por extraño que parezca, "no es de este mundo".

❖ ❖ ❖

La ciencia moderna, por la naturaleza de su*modus operandi,*es incapaz de captar ese tipo de causalidad; de hecho, es incapaz de siquiera reconocer que el fenómeno del colapso del vector estatal no puede abordarse con los medios a su disposición, lo que explica los esfuerzos incesantes por parte de los físicos para lograr precisamente eso. No importa

si se ve el tiempo*ala*Newton como un continuo lineal o en Ein

Los términos steinianos están implícitos en el continuo espacio-tiempo: en cualquier caso, una causalidad que trascienda el dominio temporal es científicamente inconcebible. Sin embargo, la metafísica tradicional sostiene que la causalidad primaria de hecho trasciende los límites del tiempo. Para entender lo que esto implica, primero que nada debemos renunciar a la

1.En el caso general, en el que el espacio de Hilbert subyacente es de dimensiones infinitas, esta forma de plantear la cuestión no es exacta; la diferencia, sin embargo, no es relevante para el punto en cuestión.

2. Un proceso estocástico es aquel en el que tanto la aleatoriedad como el determinismo

entran en juego, como en el caso del movimiento browniano, en el que la trayectoria de una partícula clásica experimenta rupturas aleatorias debido a colisiones fortuitas con partículas cercanas de algún tipo.

noción de que el universo "existe en el tiempo", como si el tiempo mismo pudiera trascender el universo. Es quimérico suponer que el tiempo -al menos tal como entendemos el término- tiene alguna realidad aparte del proceso temporal, es decir, aparte de los movimientos y transformaciones del mundo natural. Según la creencia antigua, el tiempo nació con los cuerpos celestes, que miden su flujo mediante sus revoluciones prescritas; la conexión, por tanto, entre el tiempo y el reloj celestial que mide o "determina" las duraciones es tal que los vuelve inseparables.

Por lo tanto, si se concede que el universo no es autocausado,
De ello se deduce que el acto creativo mediante el cual surgió fue de hecho supratemporal; como lo expresó San Agustín: "Sin lugar a dudas, el mundo no se hizo en el tiempo, sino con el tiempo".3 Sin embargo, aun así, tendemos a pensar en el acto creativo como algo que tuvo lugar hace mucho tiempo, que es decir que lo consideramos de todos modos como un acontecimiento temporal. Parece que nuestra mente está más o menos obligada a pensar en términos espacio-temporales incluso cuando el objeto intencional excluye límites espacio-temporales. Todo matemático, por citar un buen ejemplo, es consciente del hecho de que fantasmas espacio-temporales acompañan incluso a sus reflexiones más abstractas y sofisticadas y, de hecho, ha aprendido el arte de utilizar imágenes de este tipo como medio para "ver" el proceso matemático. objetos en cuestión. El hecho es que las imágenes pueden verse como signos que señalan más allá de ellas mismas, hacia un objeto o realidad trascendente que de alguna manera representan. La posibilidad misma del pensamiento metafísico, en particular, depende de este principio; lo que se requiere son representaciones simbólicas de verdades metafísicas: íconos metafísicos, por así decirlo, que puedan ser recibidos por nuestras facultades mentales y captados por el intelecto. Contrariamente a una idea errónea popular, el intelecto humano no opera a través del razonamiento, sino precisamente a través de un acto de visión mediado por una imagen, una representación icónica de algún tipo.

Volviendo a la idea errónea de que el universo fue creado "hace mucho tiempo", surge la pregunta de si puede encontrarse un simbolismo adecuado en términos del cual pueda entenderse la naturaleza supratemporal de la creación. Propongo abordar esta cuestión paso a paso en

3. *De civita Dei,*11.6.

términos de tres observaciones; El primer punto es este: la forma natural de representar iconográficamente un metacosmos es por medio de una dimensión superior. Si nos limitamos a representaciones en el plano, esto implica que el espacio-tiempo de 4 dimensiones tendrá que representarse mediante una figura de 1 dimensión y, por tanto, mediante una línea o una curva. Si pensamos que las tres dimensiones suprimidas son espaciales, la línea o curva resultante representará el universo empírico como un proceso temporal o, si se prefiere, como el Tiempo mismo. Y esto nos lleva a la segunda observación: dado que cada punto imaginado en el tiempo tiene un antes y un después, nuestra elección es entre una línea abierta en ambos extremos o una simple curva cerrada. Ahora bien, la primera posibilidad es iconográficamente inaceptable porque en realidad no es construible; esto deja al círculo -la curva delimitada más simple- como el principal candidato.4 El tercer punto pertenece al acto creativo mismo, que ahora se concibe más allá del tiempo y, por tanto, metacósmicamente. Lo que hay que reconocer es que esta Ley es perfectamente sencilla: es indivisa y, de hecho, indivisible. Por tanto, debe representarse iconográficamente como un punto. Ese punto, sin embargo, debe ser único, apartado de todos los demás puntos por alguna marca de distinción, de preeminencia. Con esta tercera estipulación, sin embargo, salen a la luz los elementos definitorios de una representación iconográfica: el icono debe consistir en un círculo junto con su centro. Mencionaré de paso que esta representación se aplica no sólo al universo en su conjunto -al macrocosmos- sino igualmente a todo ser auténtico contenido en ese universo, y sobre todo al hombre, microcosmos por excelencia. Hay que añadir que el icono que hemos caracterizado, por así decirlo, en su simplicidad arquetípica, admite innumerables elaboraciones, cada una adaptada a una aplicación o dominio particular, y era conocido de una forma u otra por todas las civilizaciones tradicionales.

A modo de contraste, cabe señalar que el Occidente moderno constituye de hecho la primera civilización que no ve el cosmos a través de las lentes, por así decirlo, de este icono. Nuestra ciencia, claramente, no necesita un metacosmos y está comprometida a ver el universo empírico como un sistema cerrado que puede entenderse, en principio y

4. En cuanto a la circular o'cíclico'Desde el punto de vista del tiempo me refiero a Robert Bolton,*El orden de las edades*(Hillsdale, Nueva York: Sophia Perennis,2001),cap. 5.

sin residuos, en términos de causalidad natural. Hemos eliminado la noción de trascendencia y hemos reducido la idea de causalidad al nivel de proceso temporal. Se podría decir, un tanto hiperbólicamente, que el Tiempo se ha convertido en el nuevo dios y la Evolución en la nueva religión. ·

Pero volvamos a nuestro icono, que implica una Weltanschauung muy diferente. Lo primero que hay que observar es que el Acto creativo ha perdido su condición de "hace mucho tiempo": porque el Centro no sólo está fuera del círculo del Tiempo, sino que, de hecho, es equidistante de todos los puntos de la periferia. Cada "aquí" y cada "ahora" participan por igual en ese Acto trascendente, que por derecho propio es uno e indivisible. De esta manera podemos comprender que, aunque ese Centro no está en ninguna parte del espacio o del tiempo, en cierto sentido es ubicuo: en palabras de Dante, es "donde se concentran todas las partes y todos los momentos".5 De la misma manera se deduce lo siguiente: que la creación no es en realidad secuencial; como leemos en el Eclesiástico: 'El que vive en la eternidad creó todas las cosas a la vez'. (Ecl. 18:1) 'Hay un fin, entonces', dice Filón Judaeus, 'a la idea de que el universo llegó a existir "en seis días"'; y Meister Eckhart lo expresa aún más claramente: "Dios hace el mundo y todas las cosas en este presente ahora", declara el maestro alemán. Resulta que la multiplicidad no pertenece al acto creativo, sino al orden creado: en términos de nuestro ícono, no pertenece al centro, sino a la circunferencia.

Es necesario señalar además que nuestro icono comprende, no dos, sino tres elementos básicos: además de un centro y una circunferencia, implica radios que conectan el centro con puntos de la circunferencia. Esto también tiene su significado metafísico, su interpretación ontológica; como lo expresó sucintamente Shabistari, el sufí persa: "Del punto surge una línea, luego un círculo: los radios representan lo que podría denominarse la dirección 'vertical', que tiene que ver, no con el espacio temporal, sino con la dimensión ontológica". relaciones. Todo lo que existe dentro del espacio y el tiempo existe en virtud de esa dimensión vertical; como dice Shabistari, la línea precede al círculo, no temporalmente, por supuesto, sino lógicamente. Es una superstición moderna que las cosas existen por sí mismas o gracias a otras "cosas": el eclipse de la verticalidad, que va del desprecio a la negación real, constituye de hecho el paso decisivo

5. *paraíso,*29.12.

que nos adentra en el mundo moderno. Mientras tanto, sigue siendo cierto, ahora como antes, que la mente humana tiene acceso a la dimensión vertical y que, de hecho, somos conscientes de esa dimensión oficialmente "ineexistente" no sólo en nuestra sensibilidad moral, estética y religiosa, sino también en nuestra vida diaria. vida. Incluso el acto más simple de percepción sensorial es consumado por el intelecto y, por lo tanto, trasciende los límites del espacio y el tiempo.6 Además, el objeto externo también trasciende su lugar espacio-temporal en virtud de su forma sustancial, sin la cual no podría ser conocido. Se ve que en un universo desprovisto de verticalidad, el conocimiento objetivo se ha vuelto impensable; y de hecho, después de siglos de esfuerzos inútiles por explicar cómo somos capaces de conocer el mundo exterior, los filósofos occidentales aparentemente se han convencido de que, en realidad, no lo sabemos. Como he argumentado en otra parte,7 la visión del mundo moderna lleva en sí las semillas del posmodernismo; una vez olvidado que el círculo deriva del centro a través de una línea, la suerte está echada.

❖ ❖ ❖

Resulta que existe una causalidad primaria que actúa, no en un pasado distante, sino en cada*aquí*y ahora sin excepción. Todas las cosas que existen en el espacio y el tiempo no sólo nacen, sino que se mantienen en existencia, por esta causalidad primaria que se deriva de un acto único e indivisible. A diferencia de los tipos de causalidad que interesan a la ciencia moderna (que pueden denominarse causalidad temporal o natural), esta causalidad primaria no actúa del pasado al futuro mediante un proceso temporal, sino que actúa directamente, sin la mediación de ninguna cadena de acontecimientos temporales. Ahora surge la cuestión de si este modo de acción "temporalmente no mediado" -que designaremos con el adjetivo "vertical"- es prerrogativa exclusiva de la causalidad primaria, o si tal vez existen modos secundarios de causalidad vertical. En respuesta a esta pregunta se puede decir que la

6. Sobre esta cuestión me remito a mi artículo 'El enigma de la percepción visual',
*Sofía,*vol.10,No. 1 (2004), páginas
21-45.
7. *La sabiduría de la cosmología antigua,*pp227-30.

la causalidad efectuada por un agente inteligente es forzosamente vertical. 8 Tomemos el caso del arte en el sentido primitivo de creación humana: de hecho, todo el proceso depende de tal acto vertical. Lo que está en juego en el arte auténtico es una verdadera imitatio Dei: el artista humano "participa" hasta cierto punto en la proeza creativa de la Causa Primera: "Todas las cosas fueron hechas para Él, y sin Él nada fue hecho" (Juan 1:3). Pero, ¿significa esto que toda producción -incluso el artefacto más chapucero- debe atribuirse indiscriminadamente a Dios mismo? Seguramente no. Es interesante observar, a este respecto, que según la puntuación que llegó a ser generalmente aceptada en tiempos posmedievales, Juan 1:3 en realidad dice: "Todas las cosas por él fueron hechas, y sin él nada de lo que fue hecho fue hecho". .' Podemos entender que el quad factum est se refiere a lo verdaderamente hecho y, por tanto, a lo que verdaderamente es. La diferencia, escolásticamente hablando, reside en la presencia o ausencia de la forma: es la forma -¡un elemento trascendente!- la que otorga el ser. Ahora bien, el otorgamiento de forma constituye un acto de causalidad incurablemente vertical.

Sin embargo, existe una diferencia crucial entre las formas otorgadas por la causalidad primaria y las formas impuestas por actos secundarios de causalidad vertical. Es prerrogativa del Primer Artífice otorgar forma sustancial: las formas que dan existencia a las sustancias primarias que constituyen el dominio corpóreo, y sobre las cuales todos los modos secundarios de producción están obligados a operar: el mármol, por ejemplo, sobre el cual actúa el escultor. Las formas impuestas por el arte humano son de otro tipo: son formas que dan ser, no a una sustancia, sino a un artefacto. Se ve que a pesar de la realidad de la "participación", la imitatio está aún muy alejada del acto primario mismo. Y, sin embargo, el hecho es que el otorgamiento de forma -ya sea "sustancial" o no- depende de un acto vertical, como he dicho.

Habiendo señalado la ubicuidad de la causalidad primaria y habiendo

Aunque se ha observado que también existen modos secundarios de causalidad vertical, es necesario afirmar que, aun así, los modos temporales de causalidad también existen y tienen un papel que desempeñar. La acción primaria no borra los modos temporales: por el contrario, trae estos modos secundarios de

8. Ibíd.,pp194-98.

causalidad a la existencia y los hace operativos. La causalidad temporal, sin embargo, tiene un alcance limitado; se puede decir que es capaz de efectuar cambios, efectuar transformaciones de varios tipos, pero no puede dar lugar a algo nuevo: la auténtica "creación", como hemos visto, es prerrogativa de la causalidad vertical. Para ser precisos: una causa verdaderamente productiva es la causalidad primaria misma o es el acto libre de un agente inteligente que "participa" en la causalidad primaria; Por otra parte, nada está verdaderamente «hecho» por causas naturales.

Cabe señalar que estas reflexiones se relacionan íntimamente con un teorema matemático, descubierto por William Dembski, que forma la base de lo que actualmente se conoce como teoría del DI (las iniciales significan "diseño inteligente").9 Lo que Dembski ha demostrado es que el DNI puede ser reconocido mediante un criterio, una firma que no puede ser duplicada por causas naturales. La teoría puede formularse en términos de teoría de la información y depende de un concepto de información compleja especificada o CSL. El resultado fundamental es una ley de conservación de la CSI que afirma que la cantidad de CSI en un sistema cerrado no puede aumentar mediante ningún proceso natural. , ya sea determinista, aleatorio o estocástico. 10 Esto significa, según nuestro análisis, que sólo la causalidad vertical es capaz de generar CSL. Mencionaré de paso que este resultado plantea un problema formidable para la biología darwinista, ya que demuestra que el mecanismo darwiniano -que de hecho constituye un proceso estocástico- no podría haber generado las inmensas cantidades de CSI ejemplificadas en los organismos vivos. Lo que ahora nos preocupa, sin embargo, es algo mucho más general: si es cierto que "hacer" es producir CSI, y si es además cierto que toda causalidad vertical se deriva de la Primera Causa -ya sea directamente o a través de la "participación" ' - entonces se sigue, incluso sobre bases rigurosamente matemáticas, que 'Todas las cosas fueron hechas por Él'.

Habiendo distinguido los modos de causalidad vertical y temporal (que también podrían denominarse "horizontales"), nos corresponde

9. Se puede encontrar un resumen de la teoría del DI en*La sabiduría de la cosmología antigua,*cap.10.

10. Estrictamente hablando, los procesos deterministas y aleatorios son casos limitantes de un proceso estocástico.

Obsérvese que los dos tipos de causalidad coexisten sin ninguna confusión de efectos: así como la causalidad horizontal no puede producir los efectos de la causalidad vertical, también se puede decir que la causalidad vertical no produce efectos propios de la causalidad horizontal. Me parece notable que esto también pueda entenderse en términos de nuestro simbolismo geométrico: como todo estudiante de mecánica sabe muy bien, un vector de fuerza vertical no producirá una aceleración horizontal, ni una fuerza horizontal producirá una aceleración vertical. Ahora bien, puede parecer que esta aparente incapacidad por parte de la causalidad vertical para producir efectos "horizontales" es incompatible con el principio de primacía; pero en realidad este no es el caso. Mi punto es que la causalidad vertical produce un cambio ontológico, que a su vez puede afectar el curso temporal de los acontecimientos sin alterar el funcionamiento de la causalidad horizontal: cuando una cosa cambia internamente, su comportamiento externo cambiará en consecuencia. Los mismos principios de causalidad temporal operan antes y después de la alteración ontológica y, sin embargo, el proceso resultante exhibe un cambio correspondiente. Mientras tanto, ni la alteración ontológica ni la alteración "trayectoral" resultante son el efecto de un proceso temporal, es decir, ambas se presentan como una discontinuidad irreductible. Por lo tanto, a pesar del hecho de que la causalidad vertical no afecta directamente el cambio temporal, es capaz de alterar el curso de los acontecimientos sin ninguna suspensión de la causalidad temporal.

❖ ❖ ❖

Volviendo al tema de la física cuántica, nos corresponde considerar una vez más la distinción categorial entre un objeto corpóreo X y su objeto físico asociado SX. Habiendo puesto en juego la noción escolástica de forma sustancial, debemos señalar, en primer lugar, que lo que normalmente consideramos objetos corpóreos en el dominio inorgánico rara vez se definen por una única forma sustancial. Lo que nos enfrentamos en estos casos no es una sola sustancia, sino un agregado formado por muchas sustancias, lo que los escolásticos denominaron mezcla. Sin embargo, por básica que pueda ser esta distinción, se ve que no tiene ninguna relevancia particular para la cuestión que nos ocupa, es decir, que podemos suponer, sin ninguna pérdida real de generalidad, que X es una sustancia.

¿Cuál es entonces la relación entre X y SX? Podemos decirlo de esta manera: lo que se presenta a los ojos del físico como un agregado SX de partículas cuánticas es de hecho un objeto corpóreo X en virtud de una forma sustancial, y lo que explica la diferencia es de hecho un acto de causalidad primaria. . Las partículas cuánticas que componen SX existen como objetos intencionales de la física, pero no como componentes de X: como partes de X, estas supuestas partículas ya no son físicas y, estrictamente hablando, ya no pueden concebirse como partículas. Como parte de un ente corpóreo, participan del ser de ese ente, es decir, de su forma sustancial. Hemos concluido en el capítulo 4 que las partículas físicas carecen de esencia y, por tanto, carecen de ser: es por eso que Heisenberg ha situado estas así llamadas partículas "justo en el medio entre la posibilidad y la realidad"; es la razón por la que Erwin Schrodinger concluye que

> Nos hemos visto obligados a descartar la idea de que tal partícula sea una entidad individual que, en principio, conserva su "misma identidad para siempre". Por el contrario, ahora nos vemos obligados a afirmar que los constituyentes últimos de la materia no tienen "misma igualdad" en absoluto.11

No tienen "igualdad", agreguemos, porque no tienen esencia, ni quiddity, ni forma sustancial propia. Como se ha explicado suficientemente en los capítulos anteriores, no son en verdad "cosas", sino que pertenecen a la categoría ontológica de las potentiae. Ahora bien, el acto para el que están en potencia, digo, no es otro que la incorporación a una entidad corpórea. De ello se deduce que una vez incorporados, ya no son potencias y, por lo tanto, ya no son partículas cuánticas. Sin embargo, hay que entender que siguen existiendo como objetos intencionales de la física, y que la representación mecánico-cuántica de SX conserva su validez desde un punto de vista físico, sujeto, sin embargo, a la siguiente condición: es necesario suponer que el rango de superposiciones en SX está limitada por la naturaleza corpórea de X. Recordemos que éste es precisamente el "principio de dessuperposición" que resuelve la paradoja de Schrodinger: es la razón por la que las pelotas de críquet no se bilocan y por la que los gatos no pueden ser ambas cosas. muerto y vivo. Parece que el estatus subcorpóreo de SX tiene

11. *Ciencia y Humanismo*(Cambridge: Cambridge University Press,1951), pág.17.

implicaciones mecánico-cuánticas, hecho que ahora puede verse como un efecto de causalidad vertical.

ÉlDe estas consideraciones se deduce que las entidades corpóreas no están en realidad "hechas de partículas", como casi todo el mundo cree firmemente.ÉlNo importa si concebimos estas "partículas constituyentes" de manera clásica o mecánicamente cuántica: la noción resulta quimérica en ambos casos; porque, como se ha señalado, una vez incorporadas, estas supuestas partículas ya no son partículas. Habiendo entrado en la composición de un ser corpóreo, se han metamorfoseado en algo que ya no responde a la concepción de una partícula: se han transformado en partes genuinas de un todo ontológico. Como tales no tienen existencia separada, sino que derivan su existencia del todo del que forman parte. Contrariamente a la creencia actual, no son las partículas constituyentes las que otorgan existencia a una entidad corpórea, sino que es ésta última la que otorga existencia a sus partículas constituyentes elevándolas de su estatus de*potencias*al de las piezas reales.

ÉlCabe señalar que estas reflexiones arrojan luz sobre el fenómeno de la indeterminación, que los físicos consideran, la mayoría de las veces, como una especie de anomalía o defecto. Como si no fuera suficientemente malo que Dios "jugue a los dados", los hechos cuánticos excluyen además que las partículas fundamentales, en las que los físicos habían puesto sus esperanzas, puedan incluso calificarse como "cosas". Lo que la comunidad física no ha logrado comprender hasta ahora es que estas aparentes deficiencias son precisamente lo que se requiere para que las partículas en cuestión puedan entrar en la constitución de entidades corpóreas. Para decirlo en pocas palabras:SiLas partículas cuánticas no participaban de la indeterminación, no podían recibir determinación como partes genuinas de un todo corpóreo. Los físicos lo entienden al revés: en realidad, no es función de las partículas*otorgar*estar sobre un agregado, sino más bien a*recibir*siendo de una forma sustancial.

❖ ❖ ❖

Ahora estamos por fin en condiciones de comprender el fenómeno del colapso del vector de estado desde un punto de vista metafísico tradicional. Al principio de este libro quedó claro que la distinción categórica

entre los dominios corpóreo y físico se resuelve la aparente paradoja; pero mientras que la distinción entre un instrumento corpóreo I y el instrumento físico asociado SI hace concebible el colapso del vector de estado, no nos dice cómo concebirlo realmente. Esta es, pues, la cuestión que queda por abordar.

Consideremos lo que sucede en el proceso de medición: una partícula, o un conjunto de partículas, que emana del objeto, entra en el instrumento corpóreo y se convierte, de hecho, en parte del instrumento. Es gracias a esta incorporación que el instrumento registra el resultado de la medición. Este resultado es, en consecuencia, el resultado de un acto vertical que puede concebirse como un acto de causalidad primaria mediado por una forma.12 El problema ahora es comprender cómo este acto afecta al sistema mecánico-cuántico compuesto por el objeto físico 0 más el instrumento físico SI. Porque aquí es donde reside el enigma: según la teoría cuántica, O+SI constituye un sistema físico, que debería evolucionar de acuerdo con la ecuación de Schrodinger, como normalmente lo hacen los sistemas físicos; ¿Por qué entonces esto no sucede? Ya hemos dado una respuesta parcial: lo que distingue a O+SI es el hecho de que SI resulta ser subcorpóreo; pero ¿qué efecto tiene esto sobre el estado del sistema compuesto? El efecto es el siguiente: ciertas partículas que originalmente pertenecían a 0 pertenecen más tarde al SI, lo que implica -por el "principio de dessuperposición"- una restricción de sus estados admisibles. El sistema compuesto O+SI, y por tanto su vector de estado, experimenta por tanto una discontinuidad en el momento de la medición, y ésta no es otra que el colapso del vector de estado.

Mientras tanto, se ha hecho evidente que este colapso no anula la evolución de Schrodinger del sistema, sino que simplemente inicializa la ecuación de Schrodinger. En otras palabras, el cambio de trayectoria resulta, no de una ruptura de la causalidad temporal, sino de un cambio instantáneo en el sistema mismo; como siempre vertical

12. Eugene Wigner y algunos otros teóricos de la realidad cuántica han sugerido que el colapso del vector de estado implica la "conciencia" de un observador humano. En mi opinión, esta hipótesis puede descartarse con seguridad: sería así. Sobrestimar la destreza del físico al suponer que es capaz de colapsar un vector de estado mediante un acto de su mente. Es más, una vez que se ha comprendido la ubicuidad de la causalidad vertical, ya no hay necesidad de semejante hipótesis ad hoc.

la causalidad no impide los modos horizontales de causalidad. Por tanto, es engañoso hablar de "azar" con referencia al micromundo; lo que presagia el colapso del vector de estado no es la aleatoriedad, ni el lanzamiento de un dado, sino simplemente el hecho de que el universo espacio-temporal no constituye un sistema cerrado. Lo notable del fenómeno es que exhibe un efecto de causalidad vertical, desafiando el naturalismo predominante.

❖ ❖ ❖

Parece que un solo "principio de dessuperposición" es suficiente para resolver los principales enigmas de la física cuántica:13 el hecho de que un objeto corpóreo X "actúe sobre" SX para restringir el rango de superposiciones permitidas explica de una vez el fenómeno de la dessuperposición. colapso del vector estatal, así como la paradoja de Schrodinger. Sin embargo, en realidad no se trata de que X actúe sobre SX, sino más bien de un acto vertical mediante el cual X mismo se mantiene en existencia. Lo que en última instancia está en cuestión es nada menos que la ubicuidad del Acto cosmogenético: esto es lo que me gustaría explicar ahora.

Para ello recordemos que todas las cosmogonías tradicionales contemplan un surgimiento del cosmos a partir de un sustrato material primordial al que se alude a través de una variedad de formas simbólicas en las literaturas sagradas de la humanidad, y más tarde designado por varios términos técnicos, desde la Prakriti vedántica hasta la materia prima escolástica. Entre todas estas designaciones del sustrato material, la que en cierto modo es más directamente pertinente para nuestra presente investigación es el término griego Caos; como leemos en la Teogonía de Hesíodo: "En verdad, en el principio surgió el Caos". Lo que primero “llegó a ser” puede así concebirse como una plétora de posibilidades en conflicto: “en conflicto” por ser mutuamente incompatibles en el plano de manifestación. Un bloque de mármol contiene potencialmente innumerables formas; sin embargo, sólo una de estas formas puede ser actualizada por el arte del escultor. El

13. Con la excepción de la "no localidad", un fenómeno sumamente enigmático, mencionado en las páginas 78-81. He tratado este asunto desde un punto de vista tradicional en un artículo titulado "El teorema de Bell y la ontología perenne"; ver*ElSabiduría de la cosmología antigua,*cap. 4.

La actualización de una forma, al parecer, requiere un acto determinante, la imposición de un Atado sobre lo Ilimitado de acuerdo con el versículo bíblico: "Puso su brújula en la faz del abismo" (Prov. 8:27). Por lo tanto, el acto puede concebirse como un acto de medición en el sentido antiguo común a las tradiciones griega e hindú; como explica Ananda Coomaraswamy:

> El concepto platónico y neoplatónico de medida concuerda con el concepto indio: lo "no medido" es aquello que aún no ha sido definido; lo 'medido' es el contenido definido o finito del universo, es decir, del universo 'ordenado'; lo "no mensurable" es lo Infinito, que es la fuente tanto de lo Indefinido como de lo finito, y no se ve afectado por la definición de todo lo que es definible. 14

A la luz de estas concepciones tradicionales, se ve una vez más que el mundo cuántico ocupa una posición intermedia entre lo "medido" y lo "no medido": mientras que un sistema cuántico está evidentemente sujeto a ciertas determinaciones (sin las cuales no podría ser concebido) Desde el punto de vista de la mecánica cuántica, todavía no está suficientemente determinado para calificarlo como "un contenido definido o finito del universo". Como hemos señalado antes, en realidad no es una "cosa", es decir, que carece de quiddity, carece de esencia. esencia.

Ahora bien, es precisamente esta falta de esencia la que se manifiesta físicamente como indeterminación cuántica: aquí, digo, reside el significado metafísico de esa indeterminación. Lo que tanto ha desconcertado al físico es simplemente una marca de lo "no medido". Sin embargo, esa marca resulta ser característica de todo el mundo cuántico: el principio de incertidumbre de Heisenberg lo garantiza. De ello se deduce que el dominio cuántico en su totalidad constituye un sustrato material en relación con "lo medido", es decir, el mundo corpóreo. Sin duda, un sistema cuántico puede efectivamente actualizarse a través de lo que hemos denominado presentación o mediante medición en el sentido científico: pero hay que señalar que la actualización nos saca inevitablemente del mundo cuántico y nos lleva al corpóreo, mientras que el

14. Citado en René Guenon, The Reign of Quantity (Hillsdale, NY: Sophia Perennis, 2004), p27.

El sistema en sí permanece no manifestado y, de hecho, inmanifestable. Se haga lo que se haga, el sustrato nunca deja de ser sustrato.

De estas consideraciones se desprende que la física cuántica ha descubierto un nivel ontológico que se aproxima a las "aguas" primordiales, que permanecen en su lugar incluso después de que el Espíritu de Dios haya "soplado sobre ellas, para dar origen a nuestro mundo". Sostengo que la indeterminación cuántica -el caos parcial de la superposición cuántica- puede verse como un reflejo de la naturaleza primordial. *Caos,* o incluso más concretamente como un remanente de este "desorden" subyacente.

En lo que respecta a la actualización de un sistema cuántico a través de la medición, hemos visto que esto depende de un acto de causalidad vertical que, en última instancia, debe denominarse causalidad primaria. En consecuencia, se puede decir que cada medida de un sistema cuántico constituye un acto cosmogenético que "participa en el acto único de la creación". Ya sea que el físico se dé cuenta o no, en el fenómeno del colapso del vector estatal está "recogiendo el acto cosmogenético, no hipotéticamente, en alguna explosión estipulada que se supone que ocurrió hace tantos miles de millones de años, sino en realidad, en el presente". y ahora.

❖ ❖ ❖

Se ve que SX representa el sustrato material de X, su parte inferior ontológica, por así decirlo. Constituye, si se quiere, el círculo negro dentro del campo blanco, la potencia residual que se niega a ser exorcizada. Esto nos lleva de nuevo a un punto que señalé en el capítulo 5: que la indeterminación representa "la cara yin de la moneda". Mencionaré de paso que este lado yin, por "inexistente" que sea, desempeña un papel crucial en el funcionamiento del universo, desde el comportamiento de los objetos inanimados hasta el de los organismos vivos e incluso, al parecer, de las civilizaciones. . Es gracias a este 'campo negro' que existen en el mundo el crecimiento, la espontaneidad y una cierta libertad; sin embargo, al mismo tiempo, el sustrato material se manifiesta también como una propensión universal a la decadencia, una tendencia, si se quiere, a regresar al caos primordial. En las esferas moral y social, esta propensión, por supuesto, nos resulta familiar a todos,15 mientras que, desde un punto de vista científico, esa misma tendencia universal

15. El libro de Robert Bolton citado anteriormente, titulado *La Orden del*

Esta tendencia se manifiesta más directamente en la Segunda Ley de la termodinámica.16 -

Si bien la existencia de un sustrato material -o "caos subexistencial"- nunca estuvo en duda, encuentro realmente sorprendente que se haya encontrado una manera de representar ese sustrato físicamente y tratarlo de una manera matemáticamente precisa y empíricamente efectiva. Es seguro decir que nadie podría haber previsto tal desarrollo científico; y de hecho, incluso después del acontecimiento, parece que hoy en día son pocos los que comprenden su verdadero significado.

Resulta que la búsqueda del físico en busca de "materia" -su el esfuerzo de siglos para determinar la base material de la existencia corpórea se ha visto finalmente coronado por el éxito; lo único que ocurre es que hasta ahora no ha reconocido el hecho. Engañado por sus presuposiciones cartesianas, ha estado buscando res extensae, átomos demócratas, por así decirlo; y cuando, en las primeras décadas del siglo XX, pareció que el éxito finalmente estaba al alcance de la mano, descubrió, en el momento decisivo del descubrimiento, que su presa se había escapado misteriosamente de su alcance. En lugar de res extensae han aparecido las elusivas partículas cuánticas, y se vio obligado a admitir, para su consternación, que estas "partículas de nombre" no son de hecho entidades reales, no verdaderas "cosas". El modus operandi científico de su investigación era sólido, y que el largo y arduo camino del descubrimiento ha conducido en realidad al sustrato material de las cosas corpóreas, a pesar de las espurias apariencias filosóficas de lo contrario. Desde un punto de vista tradicional, es evidente que SX representa el sustrato de X y que, de hecho, difícilmente puede concebirse una descripción más maravillosa de ese "caos subyacente"; pero desafortunadamente ese avance aparentemente ha pasado desapercibido para la comunidad física en general, que todavía imagina con cariño que la ciencia moderna ha descalificado la sabiduría de los siglos.

Hay una moraleja en esta historia, con la que tal vez convenga cerrar

---

Siglos, proporciona lo que puede ser la mejor introducción a este tema. Ver especialmente los capítulos. 9 y10.

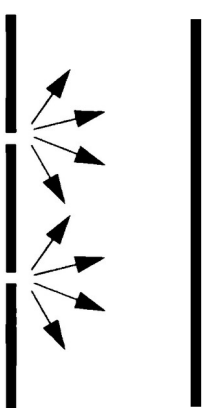
dieciséis. ÉlEs evidente que la entropía, que de hecho es una forma de "desorden", difícilmente puede ser sin relación con el "desorden" primordial conocido en la tradición como Caos.

esta monografía. La ciencia dura, como he señalado en otra parte, 17 es, en última instancia, autocorrectiva y, en cierto modo, más sabia que los científicos que la practican; al final, es probable que nos lleve a la verdad, si tan sólo tuviéramos "ojos para ver". Pero la ciencia misma no puede darnos esta visión: la ciencia como tal no puede interpretar sus propios hallazgos; y yo añadiría que tampoco puede hacerlo la filosofía moderna. Sostengo que lo que se necesita es una base en las doctrinas metafísicas tradicionales de la humanidad: los mismos principios que han sido denunciados desde la Ilustración como primitivos, precientíficos y pueriles. Por extraño que pueda parecer a las mentes modernas, estas enseñanzas (al igual que la causalidad vertical que hemos contemplado en este capítulo) derivan en última instancia "de arriba": del centro del círculo, por así decirlo. Originalmente formulados en el lenguaje del mito, han servido como catalizador de la visión metafísica a lo largo de los siglos; Ni Platón, ni Aristóteles, ni Tomás de Aquino inventaron sus propias doctrinas: todos han bebido de este manantial, excepto, por supuesto, los expertos de la modernidad, que han rechazado esa herencia. A estas alturas, sin duda, se sabe muy bien a qué destino conduce la modernidad: después de todo, hemos entrado en la era desilusionada y escéptica del posmodernismo. El argumento contra la sabiduría tradicional ha llegado a su fin y el camino hacia los manantiales perennes está abierto una vez más. Ha llegado el momento de una nueva interpretación de los hallazgos científicos basada en principios precartesianos; lo que se necesita es un cambio radical de perspectiva, una verdadera metanoia. Está en juego si las doctrinas de la ciencia conducirán a la iluminación humana o al deterioro de nuestro intelecto.

17. *La sabiduría de la cosmología antigua,* cap. i2.

APÉNDICE TEORÍA CUÁNTICA:
UNA BREVE INTRODUCCION

DIFÍCILMENTE HAY MEJOR MANERA de abordar el tema de la teoría cuántica que reflexionar sobre los resultados del llamado experimento de la doble rendija, cuya idea es realmente muy simple. Se hace pasar luz, o algún otro tipo de radiación, a través de dos rendijas en una pantalla S hasta una segunda pantalla R, donde de alguna manera se registra u observa la intensidad de la radiación entrante. Por ejemplo, se puede utilizar la luz solar y observar la distribución de intensidad resultante en R por medios visuales; y como hecho histórico, fue en esta forma que el experimento de la doble rendija fue realizado por primera vez en 1803 por un científico inglés llamado Thomas Young. Ahora bien, como era de esperar, cuando una rendija está abierta y la otra cerrada, se obtiene una única línea brillante en R, situada detrás de la rendija abierta.1



1. Este será el caso siempre que el ancho de la rendija sea grande en comparación con la longitud de onda de la luz, o mejor dicho, las longitudes de onda que se encuentran dentro del rango visible.

Cuando ambas rendijas están abiertas, en cambio, no se obtienen simplemente dos líneas brillantes (una correspondiente a cada una de las dos rendijas abiertas), sino más bien un patrón de bandas brillantes y oscuras, cuya intensidad disminuye gradualmente a medida que uno se mueve. lejos de las rendijas en cualquier dirección. Este es el primer resultado experimental; y puede explicarse fácilmente en términos de un modelo ondulatorio de la luz. Considere una posición P en la pantalla R, y sean A y B las posiciones de las dos rendijas.2 Claramente, si los trenes de ondas de A y B que llegan a P están "en fase", se reforzarán entre sí, y si 'fuera de fase' disminuirán o anularán. Ahora bien, el hecho de que los dos trenes de ondas estén en fase o desfasadas en P depende de las distancias AP y BP; y no es difícil ver, además, que las posiciones "en fase" y "fuera de fase" se alternarán cuando P se mueve a través de la pantalla R en una dirección perpendicular a las rendijas. Esto da como resultado una secuencia de bandas brillantes y oscuras, el mismo patrón obtenido en el experimento de la doble rendija.

Cabe señalar que este efecto no tiene nada que ver especialmente con la luz, sino que se aplica a todo tipo de propagación de ondas. Por lo tanto, el experimento de la doble rendija también podría llevarse a cabo con ondas de agua, por ejemplo, que una vez más se reforzarán entre sí cuando la cresta se encuentra con la cresta y se cancelarán cuando la cresta se encuentre con el valle. En lugar de bandas brillantes en R se encuentran ahora posiciones en las que el agua sube y baja considerablemente, y en lugar de bandas oscuras se encuentran posiciones de relativa calma. Dondequiera que haya ondas de cualquier tipo, se producen los llamados fenómenos de difracción o interferencia, que resultan del hecho de que los trenes de ondas que se cruzan se refuerzan o se pueden celar entre sí, dependiendo de su fase.

Sin embargo, hay un segundo hallazgo experimental que debe considerarse erizado. Supongamos que se refinara el procedimiento del experimento de Young de modo que la detección de luz en R fuera más precisa de lo que normalmente es posible por medios visuales; entonces se encontraría que la luz se recibe, no de forma continua (como exige el modelo ondulatorio), sino en unidades discretas. Así, lo que se "ve" mediante instrumentos suficientemente sensibles son pequeños destellos de luz, distribuidos al azar.

2. En aras de la simplicidad, supondremos que la anchura de las rendijas, aunque grande en comparación con la longitud de onda de la luz, es lo suficientemente pequeña como para despreciarla en el cálculo de los efectos de interferencia.

sobre la pantalla R, pero concentrado en las regiones que, al ojo humano, aparecen como bandas brillantes. La imagen que surge, por tanto, cuando perfeccionamos nuestros instrumentos de detección, sugiere mucho más la de una corriente de partículas, de diminutas «balas de luz», que la de una onda continuamente distribuida.

Mientras tanto se ha descubierto que las llamadas partículas de de qué átomos y moléculas están compuestos (como electrones y protones) también dan lugar a efectos de interferencia. De hecho, es posible realizar el experimento de la doble rendija con cualquiera de estas llamadas partículas, y en cada caso se encuentra que la densidad de los impactos de partículas en R exhibe el patrón de difracción familiar de una onda. Parece que las entidades que estamos tratando se comportan en ciertos aspectos como partículas y en otros como ondas.

Entonces, ¿qué es un electrón, por ejemplo: es realmente una partícula o es realmente una onda? Obviamente no pueden ser ambas cosas; porque es manifiestamente imposible que una cosa esté localizada en un volumen diminuto y al mismo tiempo extendida en una vasta región del espacio. Ahora bien, la idea de que un electrón sea simplemente una onda puede descartarse inmediatamente. Porque si fuera realmente una onda, evidentemente afectaría la pantalla R, no sólo en un punto particular P (o sus inmediaciones), sino en todos los puntos donde las amplitudes de los trenes de ondas fusionados que emanan de A y B no se cancelan. Pero, como hemos visto, el electrón impacta la pantalla en un lugar concreto, momento en el que cede todo su impulso (o energía cinética) de una vez.

Por lo tanto, un electrón definitivamente no es una onda. Pero a pesar de da lugar a efectos de difracción, ¿no podría seguir siendo una partícula? Consideremos el asunto. En aras de la simplicidad (y para evitar la concebible suposición de que el fenómeno de difracción podría ser un "efecto de multitud") supondremos que el haz de electrones se ha enrarecido hasta el punto en que sólo un electrón pasa por la pantalla S a la vez {a condición que de hecho puede lograrse experimentalmente). Ahora bien, si la rendija A está abierta y B cerrada, cada electrón que pase por A impactará la pantalla R dentro de alguna banda estrecha detrás de A; y el caso será similar si B está abierto y A cerrado.3 Si ambas rendijas

3. Debemos suponer que el ancho de las rendijas es grande en comparación con la llamada longitud de onda de De Broglie del electrón, es decir, la relación h/p, donde su constante de Planck

están abiertas, por otro lado, encontramos, una vez más, que aparecen bandas de interferencia. Mientras tanto, es irrelevante si estos electrones pasan a través de S en una corriente densa (digamos 1024 electrones por segundo) o uno a la vez (digamos uno por hora), como hemos supuesto.

Evidentemente está pasando algo muy extraño. Porque si un electrón es realmente una partícula, debe pasar por A o por B; y si pasa por A, debería impactar dentro de la banda dada detrás de A, y si pasa por B, entonces dentro de la banda detrás de B. La distribución de los impactos de electrones cuando ambas rendijas están abiertas debería ser, por tanto, la suma de las distribuciones respectivas cuando cualquiera de las rendijas está cerrada, es decir, debe consistir en las dos bandas antes mencionadas. Esto es lo que sucedería, obviamente, si estuviéramos disparando, no electrones, sino balas ordinarias. ¡Pero en realidad no es así!4 En lugar del esperado par de bandas encontramos una secuencia indefinida de líneas que se extienden en cualquier dirección desde las rendijas. Parece, por tanto, que aunque el electrón, presumiblemente, pasa por A o por B (¡pero no por ambos!), su comportamiento se ve afectado por el estado de la otra rendija: si está abierta o cerrada. Pero ¿cómo sabe el electrón si la otra rendija está abierta o no? ¿Con qué medios explora el espacio circundante?

Se ha hecho evidente que un electrón no puede ser simplemente una partícula ordinaria o "clásica". En el mejor de los casos, podría ser una partícula así "más" algo más, algo que no esté localizado. ¿Podría ser entonces una partícula más una onda? De hecho, la idea ha sido propuesta y llevada a cabo con cierto éxito; y, sin embargo, resulta que la hipótesis de una "onda piloto" ha contribuido poco o nada a nuestra comprensión. Además, en virtud de las extrañas propiedades que debería tener esta llamada onda, la imagen resultante está en todo caso lejos de ser "clásica".

Al fin y al cabo, descubrimos que la "extrañeza cuántica" no puede explicarse (o descartarse) mediante ningún tour de

---

y p el momento del electrón. De lo contrario, entrarían en juego los efectos de difracción de una sola rendija.

4. Según la teoría cuántica, los correspondientes efectos de difracción se producen incluso en el caso de objetos "grandes", como pelotas de béisbol y balas. Sólo que en estos objetos los efectos en cuestión son apenas observables, debido a que la longitud de onda de De Broglie es extremadamente pequeña.

*fuerza.*Incluso los resultados simples de nuestro humilde experimento de la doble rendija ya desafían explicaciones de este tipo. Lo que surge es la comprensión de que las llamadas partículas fundamentales de la Naturaleza, de hecho, no son partículas ni ondas en sentido estricto, ni tampoco entidades de un tipo más complejo que aún pueda concebirse en los términos de la física clásica. Lo que se necesita es una reformulación de los fundamentos mismos de la física: un nuevo formalismo que rompa radicalmente con el antiguo. Para ser precisos, debe ser un formalismo que distinga categóricamente entre la entidad o sistema cuántico como tal (un electrón, por ejemplo) y sus diversos observables (como la posición, el momento, etc.). Se puede decir que el problema de la física clásica es que concibe las entidades físicas en términos de sus observables, volviendo así "concreto" lo que en la naturaleza aún no lo es. Se supone, por ejemplo, que un electrón debe tener una posición bien definida y un momento bien definido en todo momento, ya sea que esa posición y ese momento hayan sido determinados mediante medición o no. ¿Pero cómo sabemos eso? ¿Y es necesario, además, suponer que la Naturaleza, en todas sus operaciones, está así constreñida?

Ahora bien, lo notable, tal vez, no es tanto el hecho de que deban abandonarse las descripciones "concretas" o "clásicas" de la realidad física, sino que pueden hacerlo, sin poner fin a la investigación física. En otras palabras, lo sorprendente es que es posible abordar la cuestión de la física en términos de un formalismo que distingue categóricamente, como he dicho, entre el sistema físico como tal y sus observables: un formalismo, se podría decir. , basado en una concepción "abstracta" de la realidad física.

El paso decisivo, cabe señalar, lo dio Werner Heisenberg, que entonces tenía 24 años, en 1925, cuando dio con una forma completamente nueva de representar los sistemas físicos. En lo que sólo puede considerarse un singular golpe de genialidad, el joven Heisenberg concibió la idea de representar un sistema cuántico mediante un elemento o vector en lo que los matemáticos suelen llamar espacio de Hilbert: una estructura matemática que había evolucionado en el siglo XIX. estudio de ciertos tipos de ecuaciones, y que en ese momento se entendía bastante bien. Se podría añadir que Heisenberg, en el momento de su descubrimiento decisivo, desconocía por completo este desarrollo matemático; en

esencia, así, reinventó la idea de un espacio de Hilbert. Sin embargo, en un corto período, la teoría matemática existente se puso al servicio de la mecánica cuántica; y así la nueva física obtuvo una base matemática sólida y coherente.

Lo que propongo hacer en esta "breve introducción" es, en primer lugar, explique al lector en general qué tipo de cosa es un espacio de Hilbert y luego indique cómo se emplean los espacios de Hilbert en la teoría cuántica. Para mantener la exposición lo menos técnica posible, me limitaré a espacios de dimensión finita. Mi preocupación es transmitir los hechos básicos de la manera más sencilla posible, relegando al mismo tiempo a un segundo plano todo lo que pueda oscurecer las ideas principales de esta introducción, de este primer vistazo.

1. *Espacios de Hilbert de dimensión finita*

Tomaremos como punto de partida el conocido plano euclidiano: el plano en el que se definen las nociones de distancia y ángulo. Elegiremos un punto 0 en este plano; y una vez hecho esto, nos referiremos a los puntos del plano como vectores. ¿Cuál es entonces la diferencia entre un vector y simplemente un punto? ¡Parece, a primera vista, que los dos son exactamente iguales! Sin embargo, la diferencia es ésta: habiendo elegido un punto de referencia o el llamado origen 0, se pueden definir tres operaciones algebraicas que dependen de esta elección. El primero se denomina suma de vectores: se pueden sumar dos puntos (ahora llamados 'vectores') para producir un tercer vector. La siguiente operación se denomina multiplicación escalar: un vector puede "multiplicarse" por un número ordinario o llamado real 5 para producir un segundo vector. Y la última operación se llama "producto interno": dos vectores pueden así "multiplicarse" para producir un número (real). El conjunto dado de vectores, dotado de las dos primeras operaciones,

5. Un número real es aquel que se puede expresar en la conocida notación decimal. Por tanto, es un número entero (positivo, negativo o cero), más un número dado por una expresión.

sión de la forma .x1JS_x3•• ,donde los xi son 'dígitos' del conjunto o,i,2, .• ,9. Tal expresión representa de hecho una serie infinita que converge a un número real.

entre o y1.Además de los números enteros y fracciones enteras, los números reales incluyen los llamados números irracionales, como por

ejemplo...J2y7t.

constituye un ejemplo de lo que se denomina espacio vectorial. Dotado de los tres, por otro lado, es más que un simple espacio vectorial. Ahora es un espacio de Hilbert (¡muy pequeño!).

Indiquemos, en primer lugar, cómo se define la suma de vectores (dado un punto de referencia O!). Si P es un punto en el plano, ahora será conve

conveniente designar el vector correspondiente mediante la notación 6P,

que sin duda resultará familiar a muchos lectores. Entonces, ¿cómo definir la suma de dos vectores, digamos OP y oQ? Se nos da

tres puntos (0, P y Q, concretamente), y ahora debemos buscar un cuarto punto R que de alguna manera esté determinado por los tres dados. Ahora bien, una elección natural sería el punto R para el cual OPRQ constituye un paralelogramo; porque de hecho, en virtud de la estructura geométrica del plano (la noción de paralelismo, en este caso) el punto R está determinado únicamente por 0, P y Q.6 Una vez determinado R, además, se realiza una suma de vectores. dado por la fórmula

$$OP+OQ=O$$

Y esto es lo que se hace: se define la suma de vectores mediante la llamada regla del paralelogramo.

La multiplicación escalar es la siguiente. ¿Cómo se debe definir esto? Aquí vuelve a entrar en juego una noción geométrica, esta vez el concepto de distancia. Dados dos puntos P y Q, denotaremos la distancia

entre ellos mediante la notación IPQI. Ahora dejemos que OP sea un vec arbitrario.

tor y un número real. Supongamos, en primer lugar, que a es positivo. Nos gustaría que la multiplicación escalar de OP por a multiplicara la distancia jOPI por a manteniendo la dirección de la línea OP unal.

terado. Para ello observamos que existe un único punto R en la recta OP tal que

$$aIOPI=IORI,$$

y tal que 0, además, no se encuentra entre R y P. Para resultados positivos

6. Suponemos que los puntos 0, P yqno son colineales. El lector tal vez desee comprobar por sí mismo qué debe hacerse en el caso colineal.

valores de a tenemos, en consecuencia, libertad para definir el producto escalar *producto*por la fórmula

aOP=O.

Por otro lado, cuando a es negativo, primero podemos multiplicar OP por-a (una operación que ya ha sido definida) y luego invertir la operación. dirección del vector resultante OR (que ahora pone 0 entre los puntos P y R). Y finalmente, cuando a es cero, tomaremos R como 0. Ahora se ha definido el producto escalar.

La definición de la tercera operación algebraica (la producción interna uct) depende de la noción geométrica de ángulo y puede parecerle al lector un poco más artificial. Baste decir que este producto será designado por la notación (OP, OQ) y definido por la fórmula

(OP, OQ)= IOPI IOQjcos</J

donde </> denota el ángulo entre las líneas OP y OQ. El lector notará que el lado derecho de esta fórmula representa un número real determinado por los vectores OP y OQ, como debería ser.

Ya se han especificado las tres operaciones algebraicas y, como era de esperar, resulta que satisfacen una serie de reglas algebraicas bastante simples (las mismas reglas, de hecho, en términos de las cuales se define axiomáticamente la estructura de un espacio de Hilbert). .7 Por ejemplo, la suma de vectores es conmutativa, es decir, que el orden en que se suman dos vectores es irrelevante. Esta propiedad algebraica, dicho sea de paso, resulta obvia a partir de la regla del paralelogramo. Menos obvio, por otra parte, es el hecho de que la suma de vectores es asociativa: que si sumamos tres vectores, no importa cuáles se suman primero. Otra propiedad interesante (y no obvia) es esta: la multiplicación escalar es distributiva con respecto a la suma de vectores, es decir, la siguiente fórmula se cumple en todos los casos:

7. Lo que hemos hecho es traducir propiedades geométricas a algebraicas. La estructura algebraica de nuestro espacio de Hilbert "refleja" la estructura euclidiana del plano.

$$a(\underline{OP}+\underline{OQ})=a\underline{OP}+a\underline{OQ}$$

Para no dejar completamente de lado el producto interno, mencionemos, finalmente, que este último es bilineal. Esto significa que

(aOP,OQ}=a(6P,oQ)
(oP+OQ, O}= (OP, O}+ (OQ, O}

más dos propiedades similares con derecha e izquierda intercambiadas.

Es necesario hacer ahora dos observaciones. En primer lugar, se puede calcular (o si se quiere, definir) la 'longitud' de un vector en términos del producto interno mediante la fórmula

$$|\vec{OP}| = \sqrt{\langle \vec{OP}, \vec{OP} \rangle}$$

Y en segundo lugar, tiene sentido decir que dos vectores son perpendiculares (u "ortogonales", como prefieren decir los matemáticos) si su producto interno es cero. El lector notará que dos vectores distintos de cero 6P
y 6Q son ortogonales (en este sentido) si y sólo si las líneas 0P y
Los OQ son
perpendiculares.

Ahora estamos en condiciones de presentar una fórmula que desempeña un papel importante en la teoría cuántica. Sean OX1 y OX2 mutuamente vectores ortogonales de longitud unitaria, y sea OP un vector arbitrario. Aplicando las leyes algebraicas a las que he aludido y haciendo uso de una propiedad elemental del plano, no es difícil demostrar que

$$(1)\quad \vec{OP} = \alpha_1 \vec{OX_1} + \alpha_2 \vec{OX_2}$$

donde a1=(OP,OP-X1), OX2 =(OP,OX-xJ El significado geométrico de esta fórmula, además, se vuelve evidente una vez que se reconoce que
los dos términos del lado derecho de la ecuación (1) corresponden a las proyecciones perpendiculares del punto P sobre las rectas OX 1 y OX2, respectivamente. O dicho de otra manera: representan dos lados
de un paralelogramo (un rectángulo, de hecho), del cual OP es una diagonal.

Los dos vectores unitarios mutuamente ortogonales OX_1 yBUEY se dicen

constituir una base ortonormal para nuestro espacio de Hilbert. Esto es ahora

Cabe observar que si hubiéramos comenzado, no con el plano euclidiano, sino con el espacio euclidiano tridimensional completo, podríamos haber definido cada una de las tres operaciones algebraicas exactamente como antes, y estas operaciones de hecho satisfarían exactamente las mismas condiciones algebraicas. normas. Sin embargo, la fórmula (1) ya no será válida. En lugar de dos vectores unitarios mutuamente ortogonales, ahora se necesitan tres (que nuevamente se denominan base ortonormal). Se obtiene entonces

$$(2)\quad \vec{OP} = \alpha_1 \vec{OX} + \alpha_2 \vec{OX}_2 + \alpha_3 \vec{OX}_3$$

donde paraai=(OP,*buey)*para yo=1, 2,3.

De los dos ejemplos se ve que una base ortonormal se caracteriza no sólo por la condición de que los vectores dados sean mutuamente ortogonales y de longitud unitaria, sino también por el hecho de que el conjunto es "máximo" en el sentido de que es imposible sumar otro vector unitario al conjunto que será ortogonal a cada uno de los vectores dados. Con esta comprensión, se puede demostrar que dos bases ortonormales cualesquiera de un espacio de Hilbert dado deben contener el mismo número de vectores; y ese número define la dimensión del espacio de Hilbert.

Lo que he expuesto hasta ahora son espacios de Hilbert de dimensiones 2 y 3, respectivamente. A continuación debo señalar que es fácilmente posible construir espacios de Hilbert de dimensión n para todo entero positivo n. Es cierto, por supuesto, que para n > 3 ya no es posible visualizar estos espacios vectoriales de una manera geométrica concreta; pero aún así se aplican todas las reglas familiares y, en realidad, es tan fácil trabajar en estos espacios de dimensiones superiores como en nuestros ejemplos de 2 y 3 dimensiones. No es necesario señalar que en la dimensión n las ecuaciones (1) y (2) asumen la forma

$$(3)\quad \vec{OP} = \alpha_1 \vec{OX}_1 + \alpha_2 \vec{OX}_2 + \ldots + \alpha_n \vec{OX}_n$$

dónde*ai*=(OP,*buey)*para yo=1, 2,...)norte.

Sin embargo, no importa cuán grande consideremos el número entero n, resulta que estos espacios de Hilbert de n dimensiones son todavía demasiado pequeños para la mayoría de las aplicaciones de la teoría cuántica. Lo que se necesita, por tanto, son espacios de Hilbert de "dimensiones infinitas"; y es cierto que no es posible

descríbalos en términos que se pueda esperar que comprendan lectores sin formación en matemáticas. Pero tampoco es necesario hacerlo; porque sucede que las ideas principales de la teoría cuántica pueden explicarse muy bien en un entorno de dimensión finita. El hecho de que en dimensiones infinitas la historia se vuelva mucho más complicada no altera la imagen básica, como se ejemplifica en el caso de dimensiones finitas. ¡De lo contrario! Lo que nos dicen las complejidades de la teoría espacial de Hilbert (por ejemplo, el justamente celebrado teorema de descomposición espectral para los operadores hermitianos) es precisamente que la imagen elemental se traslada en esencia al caso de dimensiones infinitas.

Lo que nos proponemos hacer en esta introducción es presentar la estructura matemática de la teoría cuántica en un entorno de dimensión finita y, por tanto, en una forma simplificada.

2. Números complejos

Los espacios de Hilbert considerados hasta ahora han sido espacios de Hilbert reales, lo que significa que los números, o los llamados escalares involucrados en la multiplicación escalar y el producto interno, son números reales. Sucede, sin embargo, que la teoría cuántica exige espacios de Hilbert complejos: espacios en los que los escalares sean números complejos. Formalmente todo sigue igual. Se tienen, una vez más, las tres operaciones algebraicas, y éstas satisfacen exactamente las mismas reglas que antes. Lo único que ocurre es que el concepto subyacente de número se ha ampliado del campo real al campo complejo, como se denomina a este tipo de estructura algebraica.

Paul Dirac (uno de los fundadores de la teoría cuántica) una vez comentó que 'Dios utilizó hermosas matemáticas al crear el mundo: en cualquier caso, esto explicaría la aparición de números complejos en la física; porque, como todo matemático sabe, el análisis matemático alcanza su perfección en el dominio complejo.

¿Qué es entonces un número complejo? En ciertos libros de texto se aprende que es un número de la forma $x + iy$, donde x e y son números reales y se dice que i es 'la raíz cuadrada de -1'. Pero entonces, ¿cómo se sabe que -1 tiene raíz cuadrada, y que además este 'imaginario'

¿El número 'i se puede multiplicar por un número real y y el resultado sumarlo a otro número real x? Claramente, la expresión x + iy no es una definición, sino simplemente una notación. Sin embargo, como tal, es útil; Para el
La notación misma sugiere que estos 'números' deben sumarse y multiplicarse de acuerdo con las reglas.

(4)(X+yo)+(X'+yo')=(X+X')+(y+y')

(5) (x + iy)(x' + iy') =(xx' -yy') + i(xy + yx').

Ahora se puede verificar con bastante facilidad que esta suma y multiplicación satisfacen todas las condiciones habituales, es decir, que estos "números" (¡si existen!) constituyen un campo. Dado que todo número real x es también un número complejo (uno para el cual y = o), se ve además que este campo "extiende" el campo de los números reales.

Pero la pregunta sigue siendo: ¿Qué es un número complejo? Ahora, la respuesta más simple y natural es esta: un número complejo es un par ordenado (x, y) de números reales, con la condición de que la suma y la multiplicación se definan mediante fórmulas análogas a (4) y (5), a saber,

(x,y)+(X',y')=(X+x',y+y')

(x,y)(x', y') = (xx'-yy: xy' + yx').

Permítanme señalar, en primer lugar, que los números reales pueden considerarse nuevamente como un caso especial de números complejos [al 'identificar' x con el par (x,o)], y que la definición actual de números complejos resuelve de inmediato el enigma. de i, la raíz cuadrada 'imaginaria' de -I. Porque la regla de multiplicación dada nos dice inmediatamente que

(0,1)(0,1) = (-1,0),

lo que demuestra que i no es otro que n el número complejo (o, 1). Se ve, además, que es bastante engañoso hablar de números "reales" e "imaginarios", ya que el par (o, 1) obviamente no es más "imaginario" ni menos "real" que (1,0).

IMencionemos de paso que los números complejos pueden representarse fácilmente mediante vectores en un espacio bidimensional, es decir, que podemos pensar en los números complejos como puntos en un plano (el llamado plano complejo). Para referencia futura, cada número complejo tiene un valor llamado absoluto (su distancia desde el origen en el plano complejo), dado por la fórmula

$$|(x,y)| = \sqrt{x^2+y^2}.$$

Los números complejos de valor absoluto constituyen así un círculo en el plano complejo. Por consiguiente, estos números pueden coordinarse mediante un ángulo: el ángulo 0, digamos, subtendido en el sentido contrario a las agujas del reloj desde la semirrecta formada por los números reales positivos. Y observo (nuevamente para referencia futura) que el número complejo en el círculo unitario correspondiente al ángulo 8 (que tomaremos, no en grados, sino en los llamados radianes) viene dado por la notación ei 9. El hecho de que eie En realidad, el número real e (la llamada base de los logaritmos naturales) elevado a la potencia "imaginaria" i8 no tiene por qué preocuparnos.

3. *Vectores de estado y observables*

A todo sistema físico, concebido mecánicamente cuánticamente, se le asocia un espacio de Hilbert complejo, cuyos vectores distintos de cero corresponden a estados del sistema físico. Estos vectores se denominan vectores de estado y, siguiendo a Dirac, generalmente se indican con una letra griega, con una barra vertical a la izquierda y un corchete a la derecha. El producto interno de I 'I') y Ix), digamos, se escribirá como ('If, x).

Ahora sean l'I') y Ix) vectores de estado, y sean ay ,Bdenote com números complejos. La suma ponderada al 'I') + ,Blx) es entonces otro vector en el espacio de Hilbert. ¡Pero recordemos que los vectores distintos de cero en nuestro espacio de Hilbert corresponden a estados del sistema físico! La suma compleja ponderada al'lf) + ,Blx) tiene, por tanto, un significado físico (siempre que no sea cero): representa un estado posible del sistema. Este hecho notable, que no tiene análogo en la física clásica, se conoce como principio de superposición.

A continuación debe mencionarse que la multiplicación de un vector de estado por un número complejo distinto de cero no cambia el estado correspondiente, es decir, que los estados físicos corresponden, no a vectores de estado individuales, sino a lo que podría denominarse una línea compleja que pasa por el origen del espacio vectorial.

Consideremos ahora un observable del sistema físico: alguna cantidad, es decir, que en principio puede determinarse mediante un acto de medición. El resultado de una medición, por supuesto, depende del estado del sistema. Sin embargo, es necesario distinguir entre dos casos. Hay, en primer lugar, estados cuyo resultado está determinado con certeza. Estos se denominan estados propios del observable dado. En general, sin embargo, el valor de lo observable no se determinará con certeza; es decir, cuando el sistema no se encuentra en un estado propio, una medición puede, en principio, arrojar cualquiera de varios valores posibles. Además, los valores posibles de un observable se denominan valores propios; y finalmente, los vectores de estado correspondientes a un estado propio se denominan vectores propios.

Llegamos ahora a un hecho crucial: los vectores propios correspondientes a diferentes valores propios son ortogonales. Esto implica, en particular, que si lo observable puede asumir n valores distintos, y si cada uno de ellos tiene un estado propio, entonces el espacio de Hilbert debe ser al menos n-dimensional. Y de la misma manera, si el número de valores propios distintos es infinito y cada uno tiene un estado propio, entonces el espacio de Hilbert debe ser de dimensión infinita.

En aras de la simplicidad, supongamos de ahora en adelante que el Hil
El espacio bert es de dimensión finita, digamos un espacio de dimensión n. Se deduce entonces, basándose en un teorema matemático, que todo observable admite una base ortonormal de vectores propios. Elijamos ahora un observable y denotemos por 111'1), 111'2), ..., l'l'n) tal
base ortonormal. Cada vector de estado Ix) puede entonces representarse como una suma ponderada compleja de los vectores propios dados. Para ser precisos, la ecuación (3) da

$$|\chi\rangle = \alpha_1|\psi_1\rangle + \alpha_2|\psi_2\rangle + \ldots + \alpha_n|\psi_n\rangle$$

dónde*ai*=(X, 11'i)para yo=Yo, 2, …,norte. La pregunta que surge ahora es si los coeficientes*al'ai*>…,**ai (que describen la posición del**

vector de estado en relación con los vectores propios dados) transportan información física de algún tipo. Desde un vector de estadoIX},sin embargo, se puede multiplicar por un número complejo distinto de cero sin alterar el estado correspondiente, se ve que los a/s se definen sólo hasta un múltiplo distinto de cero. Para remediar esta falta de determinación, se puede "normalizar", el vector estatalIX}dividiéndolo por su longitud. Las a; resultantes se determinan entonces de forma única, excepto en el caso de múltiplos complejos de valor absoluto.1,y además cumplirá la condición

$$(6)\ |\alpha_1|^2 + |\alpha_2|^2 + \ldots + |\alpha_n|^2 = 1.$$

¿Cuál es entonces su significado físico? Es este: el cuadrado del valor absoluto de*ai*(que ahora está determinada de manera única) es precisamente la probabilidad de que una medición del observable dado en el estado dado produzca el valor propioAicorrespondiente al vector propio.[8]La probabilidadPide obtener el valorAiviene dado por la fórmula

$$pi=(x,x\} \qquad l(X,1/f)l^2$$

ÉlCabe señalar, en primer lugar, que en virtud de la ecuación (6) estas probabilidades suman1,como de hecho deberían hacerlo. Supongamos ahora queIX}es un vector propio de lo observable. Para ser concretos, supongamos que es111'1}.Élsigue ahora queCXi=1,y todos los ai,s restantes son cero. Pero esto significa que una medición del observable dado

producirá el valor propioAicon probabilidad1,es decir con cer

corrupción. Se recupera así lo dicho anteriormente sobre el resultado de las mediciones cuando el sistema está en un estado propio.

En general, sin embargo, el sistema estará en una superposición de estados propios, en cuyo caso el estado determina, no el resultado real de una medición, sino sólo las probabilidades asociadas con los posibles resultados.Élha sido debatido desde1925si esta "indeterminación,

8. Suponemos, en aras de la simplicidad, que los valores propiosA„Ay,..,son todos distintos. Para un valor propio múltiple*A.*la probabilidad resulta ser la suma de las probabilidadesPiasociado con los vectores propiosl•/IJcorrespondiente a*A.*

se debe a las limitaciones de la teoría cuántica, o a si realmente "Dios juega a los dados", para decirlo con las famosas palabras de Einstein.

4. El principio de incertidumbre de Heisenberg

Ahora deberían decirse al menos algunas palabras sobre el célebre principio de incertidumbre de Heisenberg. Dados dos observables P y Q, surge la pregunta de si los valores de ambos pueden determinarse con certeza. A la luz de lo dicho anteriormente, se ve que para que esto sea así, el sistema tendría que estar en un estado propio.

de P y Q. Sin embargo, en general, un vector propio Ix) de Q será una suma ponderada de vectores propios I '1'1), •••, 1 'l'n) pertenecientes a P, cuyos coeficientes son simplemente los productos internos (x, 'l'i). Y esto significa que si nuestro sistema se encuentra en un estado propio corresponde

ing al vector propio Ix), una medición de P puede en principio producir cualquier valor propio Ai de P, siempre que el valor interno correspondiente el producto (x, 'l'i) no es cero. El hecho mismo de que el valor de Q esté determinado con certeza puede implicar, bajo estos auspicios, que el valor de P sea indeterminado.

En general, por supuesto, el sistema estará en un estado que no es un estado propio ni de P ni de Q, es decir, que los valores de ambos observables serán indeterminados. Existe, sin embargo, una medida matemática de indeterminación (llamada desviación estándar) en términos de la cual es posible establecer una relación entre estas dos "incertidumbres". Esta relación toma la forma

$$(7)\quad \sigma_P \sigma_Q \geq \{P,Q\},$$

donde p y Q denotan las desviaciones estándar de P y Q, respectivamente, y {P,Q} denota un cierto número no negativo determinado por P y Q. La fórmula (7) expresa la llamada relación de incertidumbre generalizada. Afirma que no importa en qué estado se encuentre el sistema, el producto de las dos 'incertidumbres' no puede ser menor que {P,Q}.9 Ahora bien, el principio de certeza u de Heisenberg, propiamente dicho

9. En términos generales, cuanto más exactamente se conozca P, mayor será la incertidumbre de Q.

llamado, corresponde al caso especial donde Q representa una posición y P la coordenada de momento correspondiente de una partícula, o más generalmente, el caso dondeqy P son los llamados observables conjugados, en cuyo caso(7)reduce a

$$PQ \quad h/27t,$$

donde su constante de Planck.

Todo esto, sin embargo, tiene poco interés inmediato para nosotros. Lo que importa, a efectos de esta breve introducción, es el simple reconocimiento de que un sistema cuántico nunca puede estar en un estado en el que los valores de todos los observables estén determinados con certeza. Y este hecho está implícito en la estructura misma de la teoría cuántica, es decir, en los principios básicos enunciados en la sección anterior.

5. La ecuación de Schrödinger

El estado de un sistema físico obviamente está sujeto a cambios. Por lo tanto, los vectores de estado deben depender en general de una coordenada temporal t, y cuando sea necesario, indicaremos esta dependencia funcional mediante la notación l'l'(t)). La pregunta que surge ahora es si es posible
capaz de predecir los valores futurosI'Si(t)) de un vector de estado, dado un ini
valor inicialI'I'(t_0)).Para que esto sea así, es necesario, por supuesto, hacer
suposiciones apropiadas sobre la acción de fuerzas externas sobre el sistema físico dado. En términos técnicos, se supone que estas fuerzas son conservativas, es decir, que se derivan de un llamado potencial; y de ahora en adelante asumiremos que esta condición se cumple. ¿Existe entonces una ecuación que nos permita calcular los valores futuros de un vector de estado dado?

La ecuación deseada fue descubierta en1926por el físico austriaco Erwin Schrodinger.Élafirma, en primer lugar, que los vectores de estado evolucionan linealmente. Esto significa que si una relación

$$|\chi\rangle = \alpha_1|\psi_1\rangle + \alpha_2|\psi_2\rangle$$

(con coeficientes complejos dados*lxi*ya$_2$)entre vectores de estado se mantiene en algún momento t_0,continuará manteniéndose durante todos $t>t_0$•

Supongamos nuevamente que estamos en un espacio de Hilbert n-dimensional, y sea I'1'1), •••, I'1'0) un conjunto de vectores de estado que, en el tiempo t = t0, constituyen un base ortonormal. En el momento t = t0, un estado arbitrario
vector IX) puede entonces expresarse en la forma

$$|\chi(t_0)\rangle = \alpha_1|\psi_1(t_0)\rangle + \alpha_2|\psi_2(t_0)\rangle + \ldots + \alpha_n|\psi_n(t_0)\rangle.$$

Sin embargo, por la linealidad de la evolución de Schrodinger, esto implica que

$$(8)\quad |\chi(t)\rangle = \alpha_1|\psi_1(t)\rangle + \alpha_2|\psi_2(t)\rangle + \ldots + \alpha_n|\psi_n(t)\rangle$$

para todos t
t0 •

¡Pero esta ecuación nos permite calcular la evolución de Schrodinger de un vector de estado arbitrario (IX), una vez conocida la evolución de Schrodinger de la base dada! Y esto lleva, obviamente, a la pregunta: ¿podemos encontrar una base especial para la cual la evolución de Schrodinger asuma una forma particularmente simple, una forma que pueda ser fácilmente comprobada?

El hecho crucial es que los estados propios de la energía total (que siempre es observable del sistema) resultan ser estados estacionarios: estados que no cambian en absoluto. Sin embargo, el hecho de que los estados propios de energía sean estacionarios no implica que los vectores propios de energía sean constantes; porque si ese fuera el caso, de la ecuación (8) se deduciría que todos los demás vectores de estado también son constantes. La cuestión es que los vectores de estado se pueden multiplicar por un número complejo distinto de cero sin alterar el estado correspondiente. En consecuencia, la evolución de Schrodinger de un vector propio de energía debe estar dada por un factor complejo, una determinada función compleja del tiempo. ¿Cuál es entonces esa función? resulta ser

(9)e-21tiEt/h

donde E es el valor propio de energía dado y h es la constante de Planck. Esto representa un vector unitario en el plano c_complex, que además gira en el sentido de las agujas del reloj, con una frecuencia E/h. Los vectores propios de energía, por tanto, participan en un movimiento giratorio incesante, cuya frecuencia es proporcional a la energía correspondiente.

Ahora supongamos que nuestra base ortonormal consta de vectores propios de energía. La evolución de Schrodinger de esa base viene dada por las ecuaciones

$$(10)\quad |\psi_j(t)\rangle \doteq e^{-2\pi i E_j t/h} |\psi_j(t_0)\rangle$$

paraj=1, 2, ... , norte, donde*MI;*denota el valor propio de energía correspondiente al vector propioIyo/yo(t)). Sustituyendo estas expresiones
En la ecuación (8), se obtiene una fórmula para la evolución de Schrodinger deIx).

Esta ecuación exhibeIx)como una superposición de oscilación simple ciones, de la misma manera que un tono arbitrario puede representarse como una superposición de tonos puros. Sin embargo, cabe señalar que la 'vibración o 'movimiento ondulatorio' descrito por la ecuación(IO)pertenece necesariamente a un nivel subempírico (si es que constituye un proceso real); para los vectores de estados constituyenteslt/li(t))pertenecen a un mismo estado físico y, por lo tanto, no pueden distinguirse por medios empíricos. Pero aunque el factor (9) resulta inobservable, determina la evolución de Schrodinger de cada vector de estado en el espacio de Hilbert. Además, todos los efectos de interferencia de la teoría cuántica dependen de esta misteriosa y compleja oscilación, el llamado factor de fase. Lo controla todo, pero él mismo elude el escrutinio.

6. Evolución de Schrodinger y colapso del vector de estado

Uno de los hechos básicos de la física clásica es que un estado inicial de un sistema físico determina sus estados futuros, siempre que se conozcan de antemano las fuerzas externas que actúan sobre el sistema.[10] Un universo regido por las leyes de la física clásica sería, por tanto, determinista: el curso de toda su evolución, hasta el más mínimo

10. Esto es válido en la representación hamiltoniana, que concibe un sistema físico como un punto en lo que se denomina espacio de fases: un espacio coordinado por las posiciones y los momentos de todas las partículas

constituyentes. En consecuencia, el espacio de fases de un sistema formado por n partículas es de 6n dimensiones.

detalles, estarían únicamente determinados desde el primer momento de su existencia. Sin embargo, no debería sorprendernos excesivamente descubrir que las cosas no son tan simples en el caso de la teoría cuántica.

Existe, en primer lugar, la ecuación de Schrodinger, que permite predecir los estados futuros de un sistema cuántico a partir de un estado inicial. Y se podría añadir que Schrodinger llegó a su ecuación a través de la física clásica, firme en la convicción de que el conocido determinismo se trasladaría al dominio cuántico. ¡Y casi lo hace! En su mayor parte, los vectores de estado barren una trayectoria continua en el espacio de Hilbert, de acuerdo con las exigencias de la ecuación de Schrodinger. 11 Sucede, sin embargo, que esta evolución continua y predecible se ve interrumpida ocasionalmente por ciertos eventos especiales, que pueden causar que el vector de estado cambie abrupta e impredeciblemente: "saltar", como dice la expresión. ¿Qué causa entonces estos saltos repentinos? No es otro que el acto de medición, la determinación experimental real de algún observable dado. Aparentemente, es la intervención del proceso experimental lo que hace que el sistema físico salte, cambie instantáneamente de un estado a otro, sin pasar por una serie continua de estados intermedios (de acuerdo con la ecuación de Schrodinger).

Sea un sistema físico y un observable de ese sistema. Para simplificar, consideraremos sólo los llamados experimentos del primer tipo: experimentos en los que el observable en cuestión asume su valor medido al final de la medición. 12 Ahora bien, si
una medición produce el valor propio A. (mediante un experimento del primer tipo), entonces sabemos que el observable tiene el valor A. en el

11. Dado que un único vector distinto de cero en el espacio de Hilbert determina así toda la trayectoria en la que se encuentra, se deduce que un estado inicial arbitrario determina la evolución de Schrodinger del sistema cuántico. Todo esto, por supuesto, a condición de que las fuerzas externas estén determinadas de antemano.

12. La cuestión es que hay experimentos («del segundo tipo») que alteran el valor del observable que se está midiendo. Por ejemplo, a menudo se determina el momento de una partícula nuclear midiendo la transferencia de momento en una colisión con alguna otra partícula. En consecuencia, la medición modifica el momento de la partícula en cuestión. Y así, si se hiciera una segunda medición inmediatamente después de la primera, se obtendría un resultado diferente.

terminación de la medición, es decir que el sistema se encuentra en ese momento en un estado propio correspondiente al valor propio A.. Antes de la medición, por otro lado, el sistema habrá estado en general en alguna superposición de estados propios. De ello se deduce que el vector de estado ha sufrido un cambio discontinuo: el llamado colapso. Por el acto de medición ha sido arrojado, por así decirlo, a un estado propio del observable dado. Además, no se puede decir de antemano qué estado propio será, porque, como hemos visto, la teoría cuántica sólo ofrece probabilidades a ese respecto. En general, por lo tanto, el acto de medición da lugar a una discontinuidad impredecible que interrumpe la evolución determinista de Schrodinger del vector de estado.

Nadie parece entender por qué las interacciones particulares que llamamos mediciones tienen este efecto notable. ¿Qué es exactamente lo que diferencia una medición de cualquier otro tipo de interacción? O para decirlo aún más simplemente: ¿por qué colapsan los vectores de estado? Y lo más importante: ¿representa ese llamado colapso una indeterminación real en las operaciones de la Naturaleza? Como es sabido, estas cuestiones han sido reflexionadas y debatidas vigorosamente desde que la teoría cuántica vio la luz; pero al menos hasta ahora parece que no se han encontrado respuestas definitivas. Mientras tanto, la mayoría de los físicos parecen contentarse con considerar la dualidad de la evolución de Schrodinger y el colapso del vector de estado simplemente como un hecho científico de la vida; es algo que, por la fuerza de la necesidad, el físico en activo aprende a aceptar sin demasiadas dudas.

7. La función de onda de una partícula

Supongamos nuevamente que estamos en un espacio de Hilbert n-dimensional y supongamos que $|\psi_1\rangle, |\psi_2\rangle, \ldots, |\psi_n\rangle$, denotar una base ortonormal de eigen
vectores pertenecientes a algún observable del sistema físico. Dado que un vector de estado arbitrario $|\chi\rangle$ ahora puede escribirse como una suma ponderada de los vectores propios dados, con coeficientes $a_i = (\chi, \psi_i)$, se ve que $|\chi\rangle$ puede representarse mediante la n-tupla compleja $(a_1, a_2, \ldots, a_n)$. En consecuencia, para cada observable existe una forma correspondiente de representar los vectores de estado mediante n-tuplas complejas. Supongamos ahora que

nuestro sistema consta de una sola partícula, que es libre de asumir n posiciones, coordinadas por números reales x 1 , x2 , ••• ,xn. Los xi, entonces, son los valores propios de un observable particular. Ahora sea IX) un vector de estado y (a 1, a2, •••, an) la representación n-tupla de IX) correspondiente a este observable. Ahora se puede definir una función de valor complejo l/f en el conjunto de valores propios de posición mediante la fórmula l/f(xJ= ai, para i = 1, 2, ..., n. Y esta función l/fi se llama onda función de la partícula dada.

Por supuesto, estamos especialmente interesados en el caso de una partícula que sea libre de asumir todas las posiciones en alguna región tridimensional V del espacio. Ahora bien, una partícula así evidentemente requiere un espacio de Hilbert de dimensión infinita para su descripción en mecánica cuántica, y sucede que en este caso no existe una base ortonormal de vectores propios de posición. Por lo tanto, nuestra construcción anterior de una función de onda ya no se aplica. Sin embargo, es posible proceder por otros medios, y se encuentra que los vectores de estado pueden representarse nuevamente mediante una función de onda, que ahora es una función continua de valores complejos l/f en V.

En general, se dice que una función de onda está normalizada si el vector de estado correspondiente está normalizado, es decir, tiene una longitud unitaria. El lector observará que para una función de onda normalizada I/fin la

caso de dimensión finita, I 'l'(xJI es precisamente la probabilidad de encontrar

ing la partícula dada en xi. Por el contrario, la cantidad correspondiente l'l'(x)l2 en el caso de dimensión infinita no es estrictamente una probabilidad, sino la llamada densidad de probabilidad. Nos dice que la probabilidad de encontrar la partícula dentro de un "volumen pequeño"
2
*!:NORTE*alrededor de x está dado por l'l'(x)l V.

Una observación adicional sobre las funciones de onda: no es difícil ver que la función de onda correspondiente a una suma ponderada de vectores de estado no es otra que la correspondiente suma ponderada de funciones de onda. Y esto implica que una suma ponderada de funciones de onda es nuevamente una función de onda. 13

13. Por tanto, las funciones de onda satisfacen su propio principio de superposición; de hecho, constituyen un espacio de Hilbert. Señalaré, a este respecto, que la mecánica cuántica fue descubierta dos veces: primero por Heisenberg, quien basó su teoría en el espacio de vectores de estados de Hilbert, y poco tiempo después (e independientemente), por

8. Reconsideración del experimento de la doble rendija

Volvamos ahora al notable experimento que hemos considerado con cierto detalle al principio. Una partícula (un electrón, digamos) es disparada a través de una pantalla S dotada de dos rendijas e impacta en una segunda pantalla R. Nuestro sistema físico consta ahora de un solo electrón, sujeto a las condiciones prescritas. Si la rendija A está abierta y B cerrada, se sabe que el electrón pasa a través de A. En consecuencia, su función de onda 1/fA, en ese momento, se concentrará o alcanzará su "pico" en la rendija A, es decir, que las amplitudes ' l'A(x) será cero para las posiciones x alejadas de la rendija. De manera similar, si B está abierto y A cerrado, la función de onda correspondiente 1/fs alcanzará su punto máximo en B en el instante en que el electrón pasa a través de esa rendija.

Formemos ahora una suma ponderada

$$\psi = \alpha\psi_A + \beta\psi_B$$

de estas dos funciones de onda, con coeficientes complejos distintos de cero a

y /3. Por lo dicho anteriormente, 1/f es nuevamente una función de onda. Y esa función de onda es descriptiva del caso en el que ambas rendijas están abiertas. El electrón se encuentra ahora en un "estado de superposición", el tipo de estado que exhibe los efectos de interferencia considerados anteriormente (que, como hemos visto, resultan inexplicables en términos clásicos).

Podemos suponer, sin pérdida de generalidad, que las funciones de onda 1/fA, 1/fs y 1/f están todas normalizadas, de modo que la ecuación absoluta al cuadrado

Schrodinger, quien basó su teoría en el espacio de funciones de onda de Hilbert. Fue Schrodinger, además, quien demostró la equivalencia de las dos teorías estableciendo el llamado isomorfismo entre los respectivos espacios de Hilbert (que de hecho se reduce, en el caso de dimensión finita, a la correspondencia entre vectores de estado y funciones de onda, como se da arriba). Sin embargo, en virtud del hecho de que el formalismo de Schrodinger da preferencia a un observable particular (es decir, la posición en el espacio), es mucho menos abstracto que el formalismo de Heisenberg, hasta el punto de que se presta más fácilmente a una interpretación clásica. lo que resulta, sin embargo, insostenible. El propio Schrodinger, curiosamente, consideró la función de onda desde un

punto de vista clásico. Y cuando Bohr le explicó, un día, la inevitabilidad del colapso de la función de onda, le dio la famosa respuesta:'SiSi hubiera sabido de este maldito "salto", nunca me habría involucrado en este negocio.' Al igual que Einstein, Schrodinger nunca llegó a aceptar plenamente la teoría cuántica.

150 EL ENIGMA CUÁNTICO

los valores de sus amplitudes son en realidad densidades de probabilidad. El hecho de que 'l'A tenga inicialmente un máximo en A nos dice, entonces, que el electrón pasa a través de A; y el caso es obviamente similar para 'l's. El significado probabilístico de 'If, además, es igualmente claro: el hecho de que tenga doble pico implica que hay una probabilidad positiva de que el electrón pase a través de la rendija A, y una probabilidad positiva que pasa por la rendija B.

Supongamos ahora que la función de onda l se conoce en el momento inicial, el instante en que el electrón pasa por S. Por medio de la ecuación de Schrodinger se puede entonces calcular l/l(t) para todos los valores subsiguientes de la coordenada de tiempo, justo hasta el momento en que el electrón impacta la pantalla R. Y como podría esperarse, la densidad de probabilidad resultante de los impactos de partículas en R ciertamente exhibe las conocidas bandas de interferencia. Al fin y al cabo, en el nivel de los vectores de estado, estamos en realidad ante una superposición de ondas; es decir, desde un punto de vista matemático, las bandas dadas constituyen efectivamente un fenómeno de difracción en el sentido clásico.

El hecho es que la teoría cuántica explica el hallazgo experimental. Funciona perfectamente. Y lo hace, como acabamos de ver, mediante amplitudes complejas, repletas de sus factores de fase oscilatoria. Lo que sí es realmente observable, por el contrario, son los valores absolutos al cuadrado: las probabilidades y las densidades de probabilidad, es decir, tal como se manifiesta, por ejemplo, en una densidad de puntos sobre una placa fotográfica expuesta. Por lo tanto, surge la pregunta de si las amplitudes complejas como tales presagian una realidad física. Algunos físicos dudan de que éste sea el caso. Pero entonces, bajo estos auspicios, sería difícil entender cómo un cálculo, basado en amplitudes ficticias, podría dar invariablemente resultados correctos. Para hablar concretamente: si los picos gemelos iniciales de la función de onda de superposición no son reales en algún sentido, ¿cómo vamos a explicar entonces la aparición de efectos de interferencia? Si es cierto que un efecto debe tener una causa, entonces estamos justificados para considerar una función de onda como algo más que una ficción. Y entonces, por la misma razón, nos vemos obligados a concluir que un electrón, antes del momento en que realmente se observa, está de alguna manera disperso en el espacio. Y si sucede, además, que su función de onda inicialmente tiene un doble pico, se

También se ve obligado a concluir que, en cierto sentido, pasa a través de ambas rendijas, por extraño que parezca.

Mientras tanto, la teoría cuántica como tal no tiene nada que decir sobre el estatus ontológico de sus amplitudes complejas; simplemente nos informa cómo calcular las probabilidades de la mecánica cuántica y, por lo demás, nos deja pensar como queramos.

GLOSARIO

Objeto físico asociado(p34): Todo objeto corpóreo (es decir, perceptible) puede ser sometido a mediciones y concebido en términos físicos. El objeto corpóreo X determina así un objeto físico SX, que se denomina objeto físico asociado.

Bifurcación(p8): El dogma cartesiano que afirma que el objeto perceptual es privado o meramente subjetivo. La idea de bifurcación va de la mano con el supuesto de que el mundo exterior se caracteriza exclusivamente por cantidades y estructuras matemáticas. Según este punto de vista, todas las cualidades (como el color) existen sólo en la mente del perceptor.

Objeto corpóreo(p26): Un objeto corpóreo es simplemente una cosa que se puede percibir.

mundo corpóreo(p26): El mundo familiar (o 'precientífico') que conocemos directamente a través de la percepción sensorial.

Mostrar(p36): Un modo de observación física que termina, no en un valor o cantidad numéricos, sino en algún tipo de presentación gráfica.

Estado propio(p62): Estado de un sistema físico en el que el valor de un observable dado puede predecirse con certeza.

Vector propio(p. 62): En el formalismo de la teoría cuántica, el estado de un sistema físico está representado por el llamado vector de estado. Un vector de estado se llama vector propio (con respecto a algún X observable dado) si el valor de X puede predecirse con certeza siempre que el sistema físico esté en un estado correspondiente al vector de estado dado.

Esencia(p85): La esencia es lo que responde a la pregunta '¿Qué?'; es, por tanto, el "qué" o quididad de la cosa.

forma(p85): El equivalente escolástico de morfe en el sentido aristotélico. La forma o 'forma' es lo que hace que una cosa sea inteligible.

hyle(p84): Término utilizado por Aristóteles para referirse al receptor preexistencial de forma o inteligibilidad. La palabra griega significa "madera" y la metáfora es escultórica: así como un trozo de madera puede recibir la forma de Apolo o Sócrates, hyle puede recibir morfe o "forma" en un sentido general.

Materia(p85): El equivalente escolástico de la hyle aristotélica. La materia es, pues, el recipiente preexistencial de la "forma" en el sentido de un contenido inteligible.

Materia secundaria(p88): Un destinatario parcialmente determinado de forma o determinación.

Materia cuantificada signata(p89): Este término se utiliza para referirse a un recipiente de forma o determinación que está sujeto a una forma o estructura matemática.

Morfeo(p84): El aspecto formal o inteligible de una entidad existente. El término fue empleado por Aristóteles junto con la palabra hyle (el destinatario de morfe).

naturaleza natural(p105): Término escolástico que significa "naturaleza" en el sentido de algo que ha sido producido, creado o "naturalizado".

naturaleza natural(p105): La naturaleza concebida como un principio activo, creativo o 'natural'. El término es en verdad un nomen Dei, "un nombre de Dios".

Naturaleza(p77): Empleo este término provisionalmente, inspirado por la observación de Heisenberg de que la física moderna no trata de la Naturaleza como tal, sino de "nuestras relaciones con la Naturaleza". Posteriormente, la noción se precisa más con la ayuda de las concepciones aristotélicas y escolásticas.

Objeto físico(p29): Algo que se puede conocer a través del modus operandi de la física.

sistema físico(p32): Un objeto físico concebido en términos de una representación dada.

Universo físico(p29): El lugar o dominio de los objetos físicos y, por tanto, en cierto modo, el mundo tal como lo concibe el físico.

potencia(p62): Término aristotélico que significa algo que existe "en potencia" en relación con otra cosa. Heisenberg aplicó el término a entidades cuánticas como las partículas fundamentales, a diferencia de "las cosas y los hechos" de la experiencia ordinaria.

Presentación(pág. 35):SiSX es el objeto físico asociado (qv) del objeto corpóreo X, entonces se dice que X es la presentación de SX.

Materia prima(p88): Materia concebida como desprovista de toda determinación formal.

Cosificación(p46): El acto por el cual revestimos entidades físicas o matemáticas con formas imaginarias y, por lo tanto, de alguna manera 'corporealizamos' estas entidades.

Especificación(p52): El proceso empírico por el cual una entidad física se define o determina hasta cierto punto.

vector de estado(p62): La entidad matemática que representa el estado de un sistema físico en el formalismo de la teoría cuántica.

Colapso del vector estatal(p65): Un cambio discontinuo o instantáneo en la representación mecánica cuántica de un sistema físico resultante de una medición real. El término también se aplica frecuentemente al

correspondiente cambio instantáneo en el propio sistema físico.

subcorpóreo(p35): Un objeto físico que es el objeto asociado (qv) SX de un objeto corpóreo X. Los objetos subcorpóreos, por tanto, no son otros que las entidades físicas que se identifican con un objeto perceptible según la interpretación habitual de la física.

SX(p34): El objeto físico asociado (qv) de un objeto corpóreo X.

transcorpóreo(pág. 35):Una entidad física que no es subcorpórea (qv). Las partículas fundamentales, así como los "pequeños" agregados atómicos, son transcorpóreos.

Causalidad vertical(p114): Un modo de causalidad que no actúa del pasado al futuro a través de un proceso temporal, sino que actúa directa o "instantáneamente".

yang(p99): El aspecto formal o esencial de una cosa.

Yin(p99) El aspecto material de una cosa. Al igual que las concepciones aristotélicas de materia y forma, o de potencia y acto, los términos "yin" y "yang" deben entenderse en conjunto.

yin y yang(p99): La familiar figura taoísta que representa la interpenetración de un campo blanco y negro. El*yin-yang*podría denominarse el icono por excelencia de la complementariedad en su sentido más universal y profundo.

ÍNDICE

Aristóteles 12 n2, 23, 84, 87, 105, 125

Bell, John S. 79, 81, 96-97
Berkeley, obispo 10
Bohm, David 78, 96
Bohr, Niels i, 4, 58, 71, 95-96, 99, 101, 149m3
Bolton, Robert 112 n4, 123n15
Boltzmann, Ludwig 45
Broglie, Louis de 96
Burtt, Edwin A. 18 págs. 3, 5

Coomaraswamy, Ananda 122

Dampier, Sir William 48
dante 113
Dehmelt, Hans 54, 70 n.15
Dembski, William 116
Demócrito de Abdera 18-20
Descartes, René 4, 7-10, 18-19, 22-23, 26, 28, 36 n3, 66, 90, 92, 101-102
Diels, Hermann 18 n.4
Dirac, Paul AM 64 n 9, 67, 137, 139

Eckhart, Meister 87 n 6, 113
Eddington, Sir Arthur 83
Einstein, Alberto i, 4 n4, 28, 42-45, 49, 95-96, 98, 101, 142, 149 enfermo3

Faraday, Michael 49
Feynman, Ricardo 70

Galileo 4, 19, 90, 92
Gell-Mann, Murray (ver descripción de la fotografía de portada)
Goethe, JW von 103
Guenon, René 93, 122 n 14

Hartmann, Nicolai 20
Heisenberg, Werner 4, 5, 19-20, 28, 59-65, 72-78, 83, 118, 131, 142-143, 148 n13, 153
Helmholtz, HermannLF48 Herbert, Nick 94
Hesíodo 121
Hume, David 84
Husserl, Edmundo 20
Huygens, cristiano 48

Jaki, Stanleyl.101 julios, James P. 48

Kant, Emmanuel 84
Klein, Félix 82

Laplace, Pierre-Simon 98
Locke, Juan 10, 84

Maxwell, James C. 49, 82 Nasr,

Seyyed Hossein iii
Neumann, John von 96-97
Newton, Sir Isaac 18-19, 45-49, 110

Penfield, Wilder 24 n.10

Filón, Judeo 113
Planck, Max 101-
Platón 19, 72, 89 n8, 125

Schrödinger, Erwin 118, 120, 143, 146, 148 n.13
Schumacher, E.F.24 n 10
Shabistari 113
Sherrington, Sir Charles 26
Smith, Wolfgang ii-iii
San Juan Evangelista 115
Santo Tomás de Aquino i, 85 n 5, 89

Stapp, Enrique 79, 81

Varghese, Roy A. 21 n8, 102 n7
Voegelin, Eric 94 m4
Voltaire 48

Blanco, Lynn 101 n6
Whitehead, Alfred N. 20, 27, 68
Wigner, Eugene 120 m2

Joven, Tomás 127-128